

CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE CHOCOLATE

CARLOS FELIPE MORENO CÁRDENAS

ANDRÉS FELIPE ANGARITA DAZA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS

INGENIERÍA MECATRÓNICA

PEREIRA

2015

CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA DOSIFICADORA DE CHOCOLATE

CARLOS FELIPE MORENO CÁRDENAS

ANDRÉS FELIPE ANGARITA DAZA

TRABAJO DE GRADO
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

DIRECTOR
HERNÁN ALBERTO QUINTERO
LICENCIADO EN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS

INGENIERÍA MECATRÓNICA

PEREIRA

2015

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por ser mi punto de apoyo, la esperanza que nos mueve y la felicidad que nos da al lograr nuestras metas.

A mis padres y a mi hermana por el ánimo, el apoyo, la comprensión y la paciencia.

Andrés Felipe Angarita

Por encima de todo le doy gracias a Dios por darme una madre que me ha acompañado y apoyado en todos mis procesos académicos, y una familia como sentido de vida, quienes me dan fuerza día a día para superarme como profesional y como persona.

Carlos Felipe Moreno Cárdenas

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Pereira, por su receptividad y apoyo, nos brindó sus espacios multiculturales llenos de diversidad que nos permitió una verdadera formación integral, nos permitió hacer uso de todas sus herramientas para así lograr una educación de calidad.

Al programa de Ingeniería Mecatrónica, por su acompañamiento durante este largo proceso, por su ayuda para que alcanzáramos las metas propuestas y su esfuerzo por intentar brindarnos los recursos necesarios para fomentar esa capacidad de formular propuestas de innovación tecnológica.

A nuestro director, Hernán Quintero, por su inmensa ayuda en la construcción de este proyecto.

A la empresa MAXTICAFÉ, que nos abrió sus puertas y nos dio la confianza de poder aplicar nuestros conocimientos para intentar mejorar el proceso que allí se realiza.

Por ultimo queremos agradecerle al taller Mecánica Industrial JAC y a su dueño Jairo Angarita, por su colaboración al poner a disponibilidad sus instalaciones y sus máquinas-herramientas para que se pudieran desarrollar la mayoría de los componentes de la máquina.

CONTENIDO

CONTENIDO	5
LISTAS DE FIGURAS	8
LISTA DE TABLAS	11
RESUMEN	14
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA DE CHOCOLATE FUNDIDO	16
1.1. HISTORIA DEL CHOCOLATE.	16
1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE.	19
1.2.1. Proceso de fabricación del chocolate en cobertura	19
1.2.2. Fundido de chocolate en cobertura	21
1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA MÁQUINA.	23
1.3.1. Propiedades térmicas a consideración para el desarrollo del proyecto.	24
1.4. DOSIFICACIÓN	28
1.4.1. Tipos de dosificadoras	28
1.4.2. Dosificadora gravimétrica	28
1.4.3. Dosificadora volumétrica	29
1.4.4. Dosificador bomba de engranes	30
1.5. MODELO MATEMATICO DEL SISTEMA TÉRMICO DEL PROCESO.	31
2. PROYECTO DE TECNOLOGÍA “ADAPTACIÓN Y SIMULACIÓN PARA UNA DOSIFICADORA DE CHOCOLATE” DE ANDRÉS FELIPE ANGARITA DAZA	34
2.1. DISEÑO ESTRUCTURAL	34
2.2 TOLVA	34
2.3. PISTONES DE DOSIFICACIÓN	35
2.4. BASE Y BOQUILLAS	36
2.5. CONJUNTO TOLVA	36

2.6. ENSAMBLE DOSIFICADORA	37
3.CONSTRUCCIÓN MECÁNICA	38
4.CONSTRUCCIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA	55
4.1. INTERRUPTOR MAGNETO-TÉRMICO	55
4.2 FUENTE REGULADA DE 24 VDC	56
4.3 PLC DVP-12SA11R	57
4.3.1 Diagrama Ladder	59
4.3.2 Programación PLC	60
4.3.3 Comunicación PC – PLC	61
4.3.4 Configuración del PLC	62
4.4 SISTEMA ELECTRO-NEUMÁTICO	63
4.4.1 Electroválvula neumática	64
4.4.2 Relé electro-magnético	65
4.4.3 Sensores finales de carrera	67
4.4.4 Cilindros neumáticos de doble efecto	67
4.4.5 Válvulas reguladoras de caudal	73
4.5. PLANOS ELÉCTRICOS	74
4.5.1. Circuito de potencia	74
4.5.2 Conexión entradas y salidas del PLC	75
4.5.3 Conexión de entradas y salidas del controlador de temperatura	76
5.CONTROL DE TEMPERATURA	77
5.1 CONTROL DE TEMPERATURA	77
5.2 CONTROL PID	77
5.2.1 Acción proporcional	79
5.2.2 Acción integral	79
5.2.3 Acción derivativa	79
5.3 Implementación del control PID	80
5.3.1 Control PID integrado en el PLC DELTA DVP-12SA	80
5.3.2 Diseño de sistema de control PID	81
5.3.3 Controlador industrial PID	81

5.4 RESISTENCIA ELÉCTRICA CALENTADORA	82
5.5 SENSOR DE TEMPERATURA	85
5.5.1 Sensores de temperatura más utilizados en la industria	85
5.5.2 Termopares	86
5.5.3 Termo-resistencias (RTD)	87
5.5.4 Termistores	89
5.6. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA	91
5.6.1. Controlador industrial	92
5.6.2. Identificación de la planta	93
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1.1. Origen del cacao.	18
Figura 1.2.1. Esquema elaboración del chocolate.	20
Figura 1.2.2. Chocolate fundido.	21
Figura 1.3. Principio cero de la termodinámica, calor.	25
Figura 1.3.2. Transferencia de calor por conducción, ley de Fourier.	27
Figura 1.4.3. Dosificadora gravimétrica.	28
Figura 1.4.4. Dosificadora volumétrica.	29
Figura 1.4.5. Dosificador bomba de piñones.	30
Figura 2.2. Cotas de la tolva en Solidworks.	34
Figura 2.3. Pistones de dosificación diseñados en Solidworks.	34
Figura 2.4. Base boquilla.	35
Figura 2.5. Conjunto tolva.	35
Figura 2.6. Ensamble dosificadora de chocolate.	36
Figura 3.1. Soporte de espárragos.	37
Figura 3.2. Ejes para tolva (espárragos).	38
Figura 3.3. Cuadrante dosificador.	38
Figura 3.4. Boquillas para dosificación.	39
Figura 3.5. Tolva de chocolate.	40
Figura 3.6. Guía para cilindros.	41
Figura 3.7. Pistón cilindro.	41
Figura 3.8. Eje envelo.	42
Figura 3.9. Cuadrado para cilindro.	43

Figura 3.10. Tope cuadrado.	44
Figura 3.11. Placa para Cilindro A.	44
Figura 3.12. Ángulo.	45
Figura 3.13. Varilla reguladora para tope.	46
Figura 3.14. Platina para finales de carrera.	46
Figura 3.15. Eje posición expulsor.	47
Figura 3.16. Barra mecanismo.	48
Figura 3.17. Eje acople biela-manivela.	48
Figura 3.18. Buje eje-manivela.	49
Figura 3.19. Eje pasador cilindro biela.	50
Figura 3.20. Base para cilindro.	50
Figura 3.21. Platina para finales de carrera.	51
Figura 3.22. Lámina base estructura.	52
Figura 3.23. Estructura.	52
Figura 4.1. Interruptor magneto-térmico unipolar 6 amperios.	55
Figura 4.2. Fuente 24 VDC Delta D0116888.	56
Figura 4.3. Controlador Lógico Programable DVP12SA11R.	57
Figura 4.3.1. Programa en Ladder de la secuencia en FluidSIM.	58
Figura 4.3.2. Diagrama en Ladder utilizando el software Delta WPLSoft.	59
Figura 4.3.3. Cable DV9 a mini DIN 9.	60
Figura 4.3.3.2. Convertidor serial DV9 a USB.	60
Figura 4.3.4. Opciones de configuración de la comunicación entre PC-PLC en WPLSoft.	61
Figura 4.4. Conexión de cilindros y electro-válvulas en FluidSIM.	62

Figura 4.4.1. Electro-válvula 5/2 monoestable, salida de 1/4 NPT y bobina a 110 VAC.	63
Figura 4.4.1.2. Silenciador en bronce con regulador de flujo.	64
Figura 4.4.2. Partes que conforman un relé electro-magnético.	65
Figura 4.4.2.2. Relé electro-magnético de 8 pines, 110 VAC.	65
Figura 4.4.3. Sensor final de carrera.	66
Figura 4.4.4.1. Propiedades físicas de cargas del cilindro A, Solidworks.	68
Figura 4.4.4.2. Cilindro neumático de doble efecto A.	69
Figura 4.4.4.3. Propiedades físicas de cargas del cilindro B, Solidworks.	69
Figura 4.4.4.4. Cilindro neumático de doble efecto B.	70
Figura 4.4.4.5. Monograma de pandeo.	71
Figura 4.4.5 Válvula reguladora de caudal unidireccional.	72
Figura 4.5.1. Plano eléctrico del circuito de potencia de la máquina.	73
Figura 4.5.2. Conexiones de entradas y salidas del PLC.	74
Figura 4.5.3. Conexiones de entrada y salida del controlador de temperatura.	75
Figura 5.2. Diagrama de bloques de un control PID.	77
Figura 5.4. Resistencia eléctrica calefactora 500 W, 110 VAC.	81
Figura 5.5.2. Termocupla tipo J.	86
Figura 5.5.3. Termorresistencia (RTD) PT-100.	87
Figura 5.5.4. Termistor NTC 100E.	89
Figura 5.5.5. Curva de operación de una PT-100.	90
Figura 5.6. Estructura del sistema de control en lazo cerrado.	90
Figura 5.6.2. Controlador de temperatura EBCHQ (58008 / XMTG-818).	91
Figura 5.6.3. Gráfica de la respuesta de la planta al ser excitada por una señal de escalón.	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura de fusión de las coberturas de chocolate más usadas	
22	
Tabla 2. Principales problemas en la fusión del chocolate.	22
Tabla 3. Capacidad calórica de los materiales usados en la máquina.	24
Tabla 4. Consumo de potencia eléctrica.	54
Tabla 5. Fuerza de empuje y retroceso por el área del vástago del pistón en el retroceso.	67
Tabla 6. Constantes de control PID sintonizado por el método Ziegler-Nichols.	94

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Capacidad calorífica de un material en unidades del sistema métrico internacional.	22
Ecuación 2. Cantidad de calor que intercambia una masa de una cierta sustancia con la variación de temperatura que experimenta.	22
Ecuación 3, 4, 5, 6, 7. El flujo calorífico cedido por la resistencia eléctrica.	31
Ecuación 8. La función de transferencia entre la variación de temperatura respecto al flujo calorífico.	32
Ecuación 9, 10, 11. Volumen de chocolate que podrá albergar la tolva.	33
Ecuación 12. Ley de Ohm, despejando potencia eléctrica.	35
Ecuación 13. Ley de Ohm, despejando corriente eléctrica.	35
Ecuación 14. Fuerza de empuje de un cilindro neumático.	67
Ecuación 15. Peso.	68
Ecuación 16. Algoritmo de un control PID.	77
Ecuación 17. Acción proporcional.	78
Ecuación 18. Acción integral.	78
Ecuación 19. Acción derivativa.	78
Ecuación 20. Sistema de primer orden con retardo.	93

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografía del circuito de control.	102
Anexo 2. Fotografía de la tolva.	102
Anexo 3. Fotografía parte frontal máquina dosificadora de chocolate.	103
Anexo 4. Fotografía parte posterior de la máquina dosificadora de chocolate.	103
Anexo 5. Fotografía del cilindro de empuje.	104
Anexo 6. Fotografía tablero de control.	104
Anexo 7. Fotografía electro-válvulas	105
Anexo 8. Fotografía finales de carrera.	105
Anexo 9. Fotografía cilindro de apertura.	106
Anexo 10. Fotografía cilindro de apertura.	106
Anexo 11. Fotografía mecanismo de empuje.	107
Anexo 12. Fotografía fabricación de la estructura.	107
Anexo 13. Fotografía adecuando conexiones de los cilindros.	108
Anexo 14. Fotografía de las conexiones eléctricas de la máquina.	108
Anexo 15. Fotografía frontal de la máquina terminada.	109

RESUMEN

Se realizó una visita a Maxticafé, microempresa del sector alimenticio, se observó que el proceso de dosificación de chocolate se desarrolla de manera artesanal, presentando lentitud en la producción y bajos estándares de calidad, impidiendo que sea un proceso eficiente.

El proceso de fusión de las barras de chocolate, lo realizan en estufas tradicionales sin poder hacer lecturas reales de la temperatura y guiándose únicamente por la experiencia de los operarios, olvidando la importancia de este procedimiento en la calidad final del producto. Además del proceso de fusión, el llenado también se realiza manualmente ocasionando inevitablemente pérdidas de la materia prima, lo que en muchos casos conlleva a que las microempresas no lleguen a ser competitivas y deban cerrar sus puertas. Otro aspecto que no se ha nombrado y es sumamente relevante es el de seguridad industrial, ya que al realizar movimientos repetitivos durante toda una jornada laboral, esto tiene serias implicaciones en la salud de dichas personas y como es de conocimiento, estas microempresas no tienen los recursos suficientes para invertir en un programa de seguridad industrial.

Se ha llegado a la conclusión que el proceso de fabricación de bombones de chocolate que realizan algunas microempresas de la región del eje cafetero afecta la calidad del producto final, la productividad de la compañía y la seguridad industrial, los cuales deben ser pilares de la filosofía de todas las empresas que quieran posicionarse dentro de cualquier mercado. La maquinaria de alta tecnología para este tipo de procesos es sumamente costosa y está controlada por los monopolios de este sector, estando fuera del alcance de los microempresarios los altos costos de adquisición, instalación y mantenimiento.

Se requiere entonces implementar un mecanismo semiautomático que además de mejorar la calidad del producto, la productividad y calidad de vida del trabajador, también esté al alcance de los pequeños y medianos microempresarios de la región.

INTRODUCCIÓN

La solución que se desea desarrollar está orientada básicamente a las microempresas de Colombia que se encuentran fuera del oligopolio formado por las grandes industrias chocolateras que controlan el mercado en nuestro país, por ello se utilizan materiales y dispositivos que se pueden adquirir relativamente a bajo costo. En estas microempresas, el proceso de fusión y dosificación del chocolate se realiza de manera rudimentaria, utilizando métodos empíricos para desarrollar estas actividades, puesto que está fuera de su alcance adquirir la tecnología en esta industria, la cual normalmente se encuentra diseñada para que sea comprada por las grandes empresas del chocolate.

Las microempresas dedicadas a este tipo de mercado que se enfrentan a una competencia tan desigual en nuestra región, tendrían una importante ayuda que les permitiría mejorar sus precios y aumentar su producción, lo que se vería transformado en mayores ganancias, tal vez hasta llegando al punto de necesitar más empleados en diferentes áreas de la compañía.

Por lo mencionado anteriormente se pretende dejar claridad que en casi todos los aspectos del desarrollo, el costo económico fue un criterio muy importante en cualquier decisión tomada, pues a nivel industrial este es un aspecto fundamental y mucho más al mercado en el que se desea incurrir, donde normalmente se trabaja con muchas limitaciones y se invierte muy poco en automatización.

Es muy importante destacar que también se optó por elegir elementos que fueran fácilmente comercializables en nuestra región, y así intentar evitar cualquier inconveniente al momento de verse en la necesidad de reemplazar algún dispositivo o si es el caso que se desee replicar esta máquina.

El presente documento se divide en cinco capítulos. El primero se basa en las consideraciones que tuvieron para realizar el diseño de la máquina para fundir y dosificar chocolate. En el segundo se hace una recopilación del proyecto “Diseño y adaptación de una máquina dosificadora de chocolate”, del estudiante Andrés Felipe Angarita, miembro actual de este proyecto. En el tercer capítulo encontramos las evidencias de la construcción mecánica del mecanismo, en donde se indican los parámetros de diseño y procedimientos de fabricación de las piezas. El cuarto capítulo se realiza el diseño y construcción de los circuitos eléctricos, electrónicos y electro-neumáticos del proyecto. En el quinto capítulo se desarrolla el control de temperatura encargado de mantener una temperatura ideal en el sistema para realizar una correcta fundición del chocolate.

1. GENERALIDADES DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA DE CHOCOLATE FUNDIDO

En este capítulo se hace una breve recopilación de los elementos que son materia de análisis y que tienen gran importancia en el proceso, para así poder realizar un adecuado diseño del desarrollo que se desea implementar, entre ellos están la historia y las propiedades del chocolate, las características térmicas de los materiales que tienen contacto directo con la materia prima y la selección de componentes, debido a esto se hace una recopilación de las máquinas dosificadoras comúnmente utilizadas en la industria.

1.1. HISTORIA DEL CHOCOLATE.

Es importante saber dónde empezaron a hacer los primeros avances en el chocolate y posteriormente analizar su llegada a nuestra región, y así llegar a reconocer de su importancia. De la historia de chocolate y especialmente del origen en Colombia se dice lo siguiente:

Existen contradicciones a la hora de definir de donde proviene la palabra Chocolate. Aunque está claro que ésta proviene de la palabra “xocolatl”, vocablo que significa “agua espumosa” (xoco: espuma – atl: agua), algunas fuentes indican que éste era el nombre de la bebida que le fue ofrecida al conquistador español Hernán Moctezuma, junto con su pueblo lo tomaron por una reencarnación del Dios Quetzalcoatl. Moctezuma le daría entonces a Cortez el tratamiento debido a una divinidad y le ofrecería esta bebida., reservada solo a personas de alta posición social. Este episodio daría el nombre científico a la planta de cacao, la Theobroma que quiere decir en griego: Comida de los dioses.

Los españoles dieron a la fruta que utilizaban los aztecas para la preparación de esta bebida el nombre de “Amígdala Pecunaria” ya que esta era ampliamente utilizada como moneda de intercambio comercial. Los monjes españoles adaptan esta bebida al paladar europeo,

sustituyendo las fuertes especias utilizadas por los nativos americanos, por miel, azúcar y leche. La corte española mantuvo la preparación de esta bebida a nivel secreto de estado y solo los monjes conocían el procedimiento para convertir el fruto del cacao en chocolate.

A comienzos del siglo XIX, surgieron los primeros intentos para cultivar sistemáticamente el cacao en Colombia. Según los cálculos del ingeniero Francisco Javier Cisneros, más del 85% del cacao consumido en Antioquia provenía de la provincia del Cauca. En Antioquia los primeros esfuerzos fructíferos por cultivar el cacao se hicieron en los alrededores de Santa Fe de Antioquia. Pero lo impropio del terreno junto con la maligna peste de la “escoba de bruja”, arruinaron a muchas familias que habían llegado a disfrutar de una buena posición gracias al cacao. Para estos años el consumo del chocolate no se había generalizado y el agua de panela era una de las bebidas más acostumbradas.

En 1886 Tulio Ospina publicó un “Manual del cultivo del cacao”, con el ánimo de promover su siembra y beneficio. A finales del siglo XIX, Colombia producía unas 6.000 toneladas de cacao. A pesar de los distintos problemas que enfrentaron los agricultores, el chocolate como bebida se integró poco a poco a la vida diaria y creó toda una cultura a su alrededor.

Para la segunda mitad del siglo XIX se hicieron algunos intentos rudimentarios para industrializar la producción de chocolate, aunque con poca fortuna. La noticia más lejana que se tiene en Antioquia, data de 1864, cuando el estado soberano le otorgó al ciudadano español Antonio Martínez de la Cuadra, un privilegio exclusivo para instalar una máquina de vapor que permitía moler 400 libras de cacao al día.

En la década de 1870 surgieron otros pioneros como Pedro Herrán, Timoteo Bravo, Félix Gaitán y Agustín Freidel, quienes ofrecían cacao elaborado a los hogares de mineros y agricultores, y lograron reemplazar en parte el chocolate molido en piedra por el chocolate “de pasta”. Enrique Cardona Mejía fue uno de los más importantes y persistentes impulsores de la industrialización del chocolate en Antioquia y el viejo Caldas. En sus comienzos fue socio industrial y técnico del acaudalado comerciante Carlos Coriolano Amador, quien estableció un molino de harina y cacao, en el que trabajó Cardona, quien posteriormente se independizó y fundó diversas fábricas de chocolate en los pueblos de Antioquia y Caldas.

En 1877, nació la Compañía Chocolates Chávez en Santa Fe de Bogotá y en 1890 se abrió Chocolates La Equitativa. Para 1904 Chocolate Chávez, abrió una sucursal en Medellín y en 1905 se fusionó con Chocolates La Equitativa. Entre tanto, en Antioquia se estableció la Fundición Estrella, localizada en Robledo, donde se produjeron los primeros molinos y tostadores para cacao.¹

Figura 1.1. Origen del cacao.



Fuente. http://dialogos.metroblog.com/historia_y_origen_del_cacao

¹ [21] Investigación aplicada sexto. Marzo de 2010. Disponible en (http://investigacionbellasartes.blogspot.com/2010/03/blog-post_22.html). Tomado de-Revista Credencial Historia (Bogotá - Colombia). Octubre 2000. No.130.

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE.

Es muy importante considerar el proceso de fabricación que tienen las coberturas de chocolate que posteriormente serán fundidas y dosificadas por la máquina a desarrollar, así como es indispensable conocer las temperaturas y las características del fundido del chocolate.

1.2.1. Proceso de fabricación del chocolate en cobertura

Los componentes necesarios para la elaboración de chocolate son polvo de cacao, manteca de cacao y azúcar, sin embargo según el producto específico que se desea obtener se añaden diferentes ingredientes como leche, almendras, avellanas, frutas, entre otros. A continuación se definen los procedimientos presentes en la fabricación del chocolate.

Tostado: este procedimiento se realiza en un horno a 130 grados centígrados aproximadamente durante 15 a 20 minutos y se realiza con el fin de resaltar las cualidades aromáticas y de sabor del cacao.

Molienda: después del tostado los granos del cacao son molidos varias veces para eliminar la cascara y quedar lo suficientemente finos, la fricción de los granos dentro de los molinos producen una mezcla líquida pero espesa.

Alcalinización: para ayudar a eliminar la acidez y la amargura típica del cacao, se somete la pasta de cacao a un prensado y así extraer la manteca de cacao.

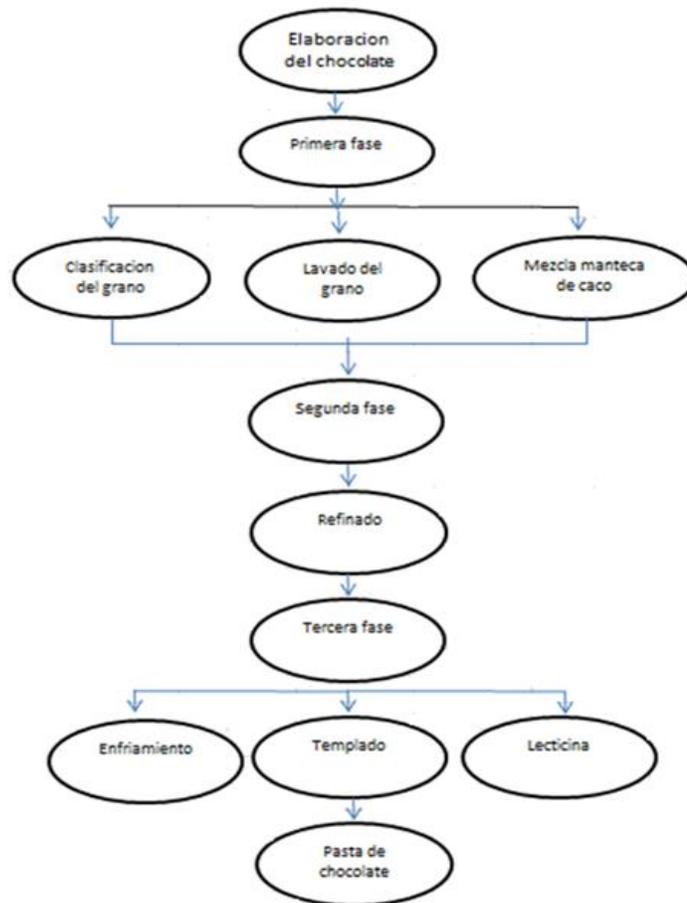
Mezcla: en este proceso se mezclan y se amasan la pasta de cacao, la manteca de cacao y el azúcar para obtener una pasta homogénea lista para ser molida otra vez.

Molido fino: se realiza en la refinadora, donde se utilizan elevadas presiones de unos rodillos de acero para reducir el tamaño de todas las partículas sólidas.

Conchado: se utilizan unas máquinas llamadas conchas donde se calienta la masa de chocolate a una temperatura de 80 grados centígrados. En este proceso se amasa y se agita la pasta de cacao para producir las reacciones de caramelización, evaporar la humedad y eliminar los ácidos volátiles que generan sabores indeseados.

Templado: se basa en una reducción de la temperatura del chocolate para obtener la adecuada cristalización del cacao. Después de volver a calentar el chocolate sin sobrepasar los 45 grados centígrados, este ya se encuentra listo para ser moldeado.²

Figura 1.2.1. Esquema elaboración del chocolate.



Fuente. Autores

² [27] OLIVERAS SEVILLA, Juan Manuel. La elaboración del chocolate, una técnica dulce y ecológica. En: Técnica industrial, No. 268 / Marzo –Abril 2007. Página 50. Disponible en <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/28/37/a37.pdf>

1.2.2. Fundido de chocolate en cobertura

Es muy importante mantener la materia prima a una temperatura constante para no provocar sobrecalentamientos en el chocolate. Es necesario evitar un calentamiento brusco, pues cada cobertura tiene una temperatura máxima que no es conveniente sobrepasar, ya que ocasionaría la fundición de la grasa cristalizada y un espesor desmedido.³

A continuación se pueden observar dos tablas que contienen información fundamental para el desarrollo que se desea implementar, debido a que estas temperaturas influyen de manera directa en la calidad del producto final que la máquina desea ofrecer.

Tabla 1. Temperatura de fusión de las coberturas de chocolate más usadas.

Tipo de cobertura	Temperatura de fusión
Cobertura negra	Entre 45°C y 50°C
Cobertura blanca	45°C
Cobertura láctea	40°C

Fuente. <http://www.afuegolento.com/noticias/45/firmas/murua/1859/>

Tabla 2. Principales problemas en la fusión del chocolate.

Alteración	Causa	Observaciones
Aspecto arenisco	Cobertura muy calentada desde el principio	El azúcar cristaliza
Color blanquecino	Cobertura utilizada a temperatura muy baja después de trabajarla	Utilización a menos de 28°C
Diferentes tonalidades	Cobertura utilizada muy alta después de trabajarla	Utilización a más de 31°C

Fuente. <http://www.afuegolento.com/noticias/45/firmas/murua/1859/>

³ [2] BAU Frédéric, Chocolate Fusión, Ed. Digital, Editorial Montagud, Año 2006, Plaza de edición Barcelona, 306 págs.

Figura 1.2.2. Chocolate fundido.



Fuente. <http://www.recetin.com/trucos-de-cocina-como-fundir-chocolate-sin-quemarse.html>

1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA MÁQUINA.

Acero inoxidable

Los inoxidables tipo 304/304L son variaciones de 18cromo-8% aleación austenítica de níquel y los más utilizados y conocidos en la familia del acero inoxidable. Estas aleaciones deben ser consideradas para una amplia gama de aplicaciones donde una o más de las siguientes propiedades son importantes: resistencia a la corrosión, prevención de la contaminación del producto, resistencia al óxido, facilidad en la fabricación, excelente formabilidad, belleza en la apariencia, facilidad para la limpieza, alta resistencia con bajo peso, buena resistencia y dureza en temperaturas criogénicas.⁴

Aluminio 6061

Aleación de magnesio y silicio, excelente resistencia a la corrosión y acabado, presenta una facilidad de maquinado gracias a sus propiedades mecánicas, aplicaciones en estructuras arquitectónicas, transporte y piezas para maquinaria.

Debido a las buenas características que presenta este material se decide emplearlo como material sustituto al acero inoxidable, puesto que es más económico y además permite un fácil mecanizado de las piezas por sus propiedades de ductilidad y maleabilidad.⁵

⁴ [22] WESCO Acero Inoxidable. Información técnica del acero inoxidable 304. Bogotá, Colombia. {En línea} Disponible en (<http://www.wesco.com.co/default.asp?ild=KMGJI>).

⁵ [23] SUMITEC Suministros técnicos S.L. Artículos. Aleaciones de aluminio. {En línea} Disponible en (<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AA%206061.pdf>).

Bronce

Es un metal de color rojizo, inerte y muy resistente a la corrosión, lo que explica que sea uno de los metales que puede tenerse en estado más puro. El bronce es un metal blando, con un índice de dureza 3 en la escala de Mohs (50 en la escala de Vickers), es resistente al desgaste, y posee una muy alta conductividad térmica y eléctrica. Se caracteriza por su buena ductilidad y maleabilidad.

Por último, una característica que está tomando pujanza en nuestros días es la buena disponibilidad al reciclaje que presenta el cobre una vez finalizado su vida útil. De hecho puede ser reciclado de forma indefinida, lo que permite reducir enormemente la energía necesaria (hasta un 90%) que si la comparamos con la energía que haría falta para transformar para su uso el material extraído directamente de la naturaleza.⁶

Tabla 3. Capacidad calórica de los materiales usados en la máquina.

Material	Calor específico J(kg °K)	Densidad kg/m ³	Capacidad calórica Kcal/m ³ .°C
Agua	4186	1000	1000
Acero	460	7850	950
Aluminio	880	2700	1300
Bronce	360	8000	390

Fuente: <http://pedrojhernandez.com/tag/materiales/>

1.3.1. Propiedades térmicas a consideración para el desarrollo del proyecto.

Calor

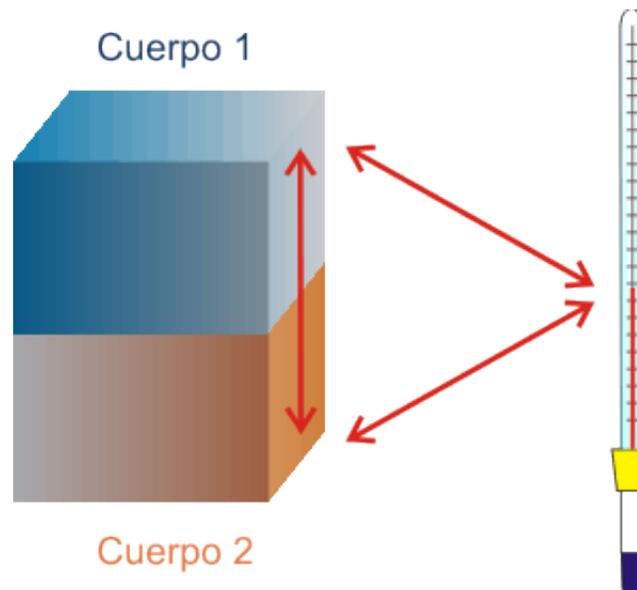
El calor (representado con la letra Q) es la energía transferida de un sistema a otro (o de un sistema a sus alrededores) debido en general a una diferencia de

⁶ [24] INGEMECÁNICA Ingeniería, consultoría y formación. Tutorial No. 112. Propiedades físico-químicas del cobre. {En línea}. Disponible en (<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn112.html>).

temperatura entre ellos. El calor que absorbe o cede un sistema termodinámico depende normalmente del tipo de transformación que ha experimentado dicho sistema.

Dos o más cuerpos en contacto que se encuentran a distinta temperatura alcanzan, pasado un tiempo, el equilibrio térmico (misma temperatura). Este hecho se conoce como Principio Cero de la Termodinámica⁷, y se ilustra en la siguiente figura.

Figura 1.3. Principio cero de la termodinámica, calor.



Fuente.

<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo1p/calor.html>

Un aspecto del calor que conviene resaltar es que los cuerpos no almacenan calor sino energía interna. El calor es por tanto la transferencia de parte de dicha energía interna de un sistema a otro, con la condición de que ambos estén a diferente temperatura. Sus unidades en el Sistema Internacional son los julios (J)

⁷ [25] BLAS, Teresa Martín Blas. SERRANO FERNÁNDEZ, Ana. Universidad Politécnica de Madrid (UPM) - España. Primer principio de la termodinámica, calor. {En línea} Disponible en (<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo1p/calor.html#>)

La expresión que relaciona la cantidad de calor que intercambia una masa de una cierta sustancia con la variación de temperatura que experimenta es:

$$Q = m * c (T2 - T1) \quad (Ec. 2)$$

Donde;

m: es la masa de la sustancia.

c: es el calor específico de la sustancia.

T2: temperatura exterior.

T1: temperatura de la sustancia.

El calor específico (o capacidad calorífica específica) es la energía necesaria para elevar en un 1 grado la temperatura de 1 kg de masa. Sus unidades en el Sistema Internacional son J/kg K

En general, el calor específico de una sustancia depende de la temperatura. Sin embargo, como esta dependencia no es muy grande, suele tratarse como una constante.⁸

Transferencia de calor por conducción

La experiencia ha demostrado que cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. Decimos que la energía es transferida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura. El coeficiente de conductividad térmica se refiere a la capacidad de un material para transmitir el calor.

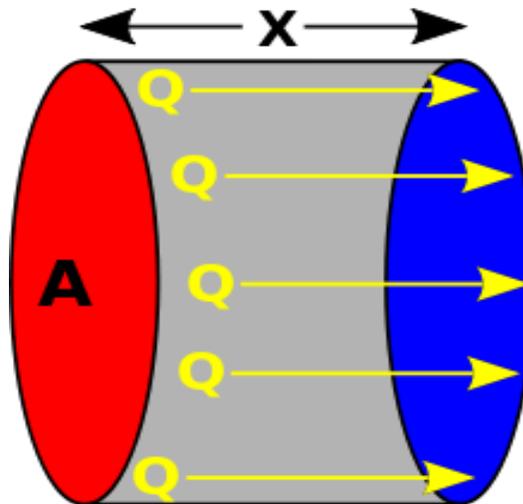
⁸ [13] Centro para la innovación y desarrollo de la educación a distancia. Área de física y química, estados de la materia, Pág. 81. Año 2010. Disponible en (<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esofisicaquimica/impresos/quincena3.pdf>)

Conducción térmica:

Este mecanismo de transferencia de energía térmica se realiza por medio del contacto directo de las partículas de dos sistemas, donde tienden a igualar su temperatura. Puede presentarse en gases, líquidos y sólidos.

La energía térmica puede ser conducida en los sólidos de dos modos: vibración de red y transporte por medio de electrones libres. En los buenos conductores eléctricos un gran número de electrones libres se mueven en la estructura de la red del material. De la misma manera que estos electrones pueden transportar carga eléctrica, también pueden llevar energía térmica de una región de alta temperatura a una de baja temperatura, como ocurre en los gases. De hecho, con frecuencia nos referimos a estos electrones como gas de electrones. La energía también se puede transmitir como energía vibracional en la estructura de red del material. No obstante, en general, este último modo de transferencia de energía no es tan grande como el transporte por electrones y por esta razón los buenos conductores eléctricos son casi siempre buenos conductores de calor.⁹

Figura 1.3.2 Transferencia de calor por conducción, ley de Fourier.



Fuente. <http://tecno159.blogspot.com/2011/06/la-transferencia-de-energia-termica-o.html>

⁹ [28] HOLMAN J. P., Transferencia de calor. Décima reimpresión, México. Año 1999. Compañía Editorial Continental S.A. Páginas 23, 24, 25.

1.4. DOSIFICACIÓN

Es un proceso en el que se suministra una cantidad de material dentro de un recipiente o envase.

En las industrias de alimentos es muy importante controlar las cantidades de material que se desea dosificar por ende se utilizan máquinas dosificadoras que es una alternativa para optimizar el proceso de dosificación.¹⁰

1.4.1. Tipos de dosificadoras

Las dosificadoras son dispositivos que tiene como función extraer pequeñas dosis de cualquier tipo de producto en este caso chocolate para entregar cantidades deseadas dentro de un recipiente, comúnmente se conocen tres tipos:

- Dosificadora la gravimétrica
- Dosificadora volumétrica
- Dosificador Bomba de engranajes

1.4.2. Dosificadora gravimétrica

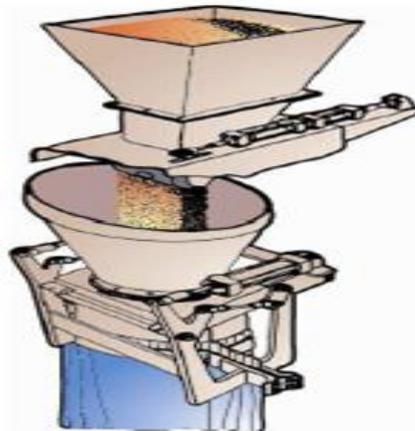
Tiene un sistema tanque donde se ubica el líquido, este contiene un flotador que es el encargado de regular la alimentación del líquido. En la parte inferior tiene una llave de paso que controla el envasado, permitiendo el paso del líquido en el momento preciso, además esta llave permite que la bomba no trabaje en seco.¹¹

¹⁰ [14] Codols Technology. Tecnología. Control de procesos, precisión y versatilidad, dosificación volumétrica y gravimétrica. Barcelona, España. Año 2011. Disponible en (<http://www.codols.com/tecnologias/dosificacion-volumetrica-y-gravimetrica>)

¹¹ [15] Coperion K-Tron. Guía de selección de dosificadores. Año 2014. New Jersey, USA. Disponible en (<http://www.ktron.es/process-equipment/feeders/feeder-selection.cfm>)

Los productos que pueden ser dosificados son: aguas, jugos, vinos y salmueras (agua con grandes concentraciones de sal).

Figura 1.4.3. Dosificadora gravimétrica.



Fuente. Muñoz Sanchez, T. (2013). Envasadora de conservas vegetales. Malaga: IC Editorial.

1.4.3. Dosificadora volumétrica

Este proceso consiste en llenar una tolva, luego vaciarla en otro recipiente basculante sostenido por una base, el contenido gira en una tapa para ser vaciado en una cubeta como se observa en la figura 15.4.

Este dosificador contiene dos camisas telescópicas que permite calibrar el volumen del producto que determina la medida exacta dependiendo de la densidad del material.

La tolva tiene un sistema de alimentación que puede ser manejado manual o automático.

Productos que pueden ser dosificados, frijol, azúcar, garbanzos, maíz, lentejas, productos solidos homogéneos.¹²

Figura 1.4.4. Dosificadora volumétrica.



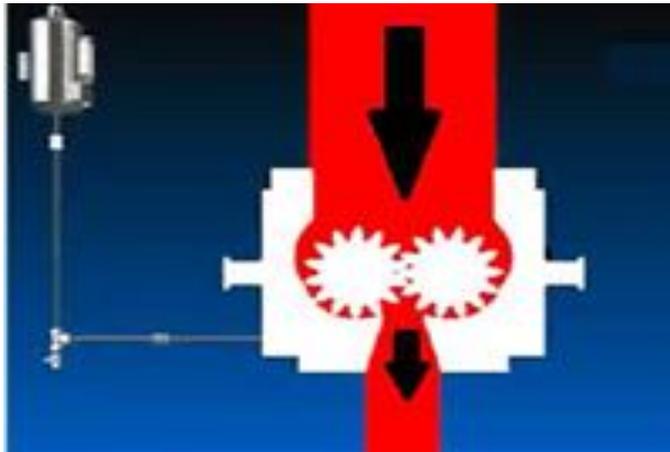
Fuente. Muñoz Sanchez, T. (2013). Envasadora de conservas vegetales. Malaga: IC Editorial.

1.4.4. Dosificador bomba de engranes

Permite dosificar fluidos viscosos a baja presión ofrece un suave y constante flujo, son confiables y fáciles de operar, pueden funcionar en cualquier dirección y trabajar en seco gracias a sus partes móviles (piñones). Está diseñado para productos como mermeladas, miel, caramelo en líquido.

¹² [15] Coperion K-Tron. Guía de selección de dosificadores. Año 2014. New Jersey, USA. Disponible en (<http://www.ktron.es/process-equipment/feeders/feeder-selection.cfm>)

Figura 1.4.5. Dosificador de bomba de engranajes.



Fuente. Muñoz Sanchez, T. (2013). Envasadora de conservas vegetales. Malaga: IC Editorial.

1.5. MODELO MATEMATICO DEL SISTEMA TÉRMICO DEL PROCESO.

Al entrar el chocolate en la tolva, esta es calentada debido a la cesión de calor de la resistencia eléctrica. Hay que tener en cuenta que los caudales de entrada y de salida son iguales.

$Q_c = Q_s$ (Igualdad de caudales)

El flujo calorífico cedido por la resistencia eléctrica es igual al almacenamiento de energía transferida a la masa del chocolate en la tolva, más las pérdidas por conducción térmica entre el depósito y la resistencia eléctrica calefactora, más la energía transferida al chocolate que está siendo dosificado.

$$q_{ent} = m C T t + \left(\frac{Tt - Ta}{Rth} \right) + \rho V C \left(\frac{Tc - Tf}{t} \right) \quad (Ec. 3)$$

$$q_{ent} = m C T t + \left(\frac{Tt - Ta}{Rth} \right) + \rho Q C (Tc - Tf) \quad (Ec. 4)$$

Donde,

Tt= Temperatura chocolate en la tolva;

Tc= Temperatura chocolate caliente;

Tf= Temperatura chocolate frio;

M = masa de chocolate en la tolva;

Rth = resistencia térmica equivalente a las pérdidas de calor por conducción;

ρ = densidad del chocolate;

Q= caudal del chocolate de salida;

c= calor específico del chocolate;

Considerando que la temperatura del chocolate frio y la del ambiente son prácticamente idénticas, $T_f = T_{am}$, y que se puede aproximar la temperatura de la tolva con la del chocolate caliente que sale, $T_t = T_c$, el balance energético es igual a:

$$q_{ent} = m C T_c + \frac{T_c - T_f}{R_{th}} + \rho Q C (T_c - T_f) \quad (Ec. 5)$$

$$q_{ent} = C_{th} T_c + (T_c - T_f) \left(\frac{1}{R_{th}} + \rho Q C \right) \quad (Ec. 6)$$

Siendo C_{th} la capacitancia térmica de la tolva. Si la temperatura del chocolate frio es la misma, se define un modelo incremental que exprese la relación entre la potencia entregada y la diferencia de temperatura en la tolva:¹³

¹³ [29] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Departamento de electrónica automática e informática industrial. Apuntes de regulación automática. Modelado matemáticos de los sistemas dinámicos. Pág. 97. Disponible en (http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/Servos/Apuntes/4_Modelado.pdf)

$$\Delta q_{ent} - (\rho \Delta T_c) \Delta Q = Cth \Delta T_c + \left(\frac{1}{Rth} + \rho QC \right) \Delta T \quad (Ec. 7)$$

La función de transferencia entre la variación de temperatura respecto al flujo calorífico, a caudal constante, depende solo de los parámetros constructivos del calentador y del caudal de entrada de chocolate en la tolva:¹⁴

$$\frac{\Delta T_c(S)}{\Delta q_{ent}(S)} = \frac{1}{Cth^s \left(\frac{1}{Rth} + \rho QC \right)} \quad (Ec. 8)$$

Después de analizar el modelado del sistema térmico del desarrollo que se desea realizar, se puede establecer que los elementos que intervienen con mayor influencia dentro del proceso, es el espesor del material de la sección inferior de la tolva, el cual constituye la resistencia que se va a presentar a la transferencia de calor por conducción térmica de la resistencia al chocolate en la tolva. Además del espesor del material de la tolva, está la cantidad de masa del chocolate que ingresa a la tolva, pues es muy importante conservar un equilibrio entre el flujo de masa de chocolate que entra a la máquina y el que sale de la misma.

¹⁴ [29] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Departamento de electrónica automática e informática industrial. Apuntes de regulación automática. Modelado matemáticos de los sistemas dinámicos. Pág. 97. Disponible en (http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/Servos/Apuntes/4_Modelado.pdf)

2. PROYECTO DE TECNOLOGÍA “ADAPTACIÓN Y SIMULACIÓN PARA UNA DOSIFICADORA DE CHOCOLATE” DE ANDRÉS FELIPE ANGARITA DAZA

2.1. DISEÑO ESTRUCTURAL

A partir del proceso de dosificación mencionado anteriormente y de los parámetros (temperatura, presión, tiempo) a establecer, se diseña la estructura mecánica con materiales que cumplan los estándares de calidad para el producto, por lo tanto se define a continuación los componentes principales de la máquina dosificadora de chocolate.

2.2 TOLVA

Es un dispositivo similar a un embudo encargado de almacenar materia prima, generalmente es de paredes inclinadas, de tal forma que la carga se efectúe por la parte superior.

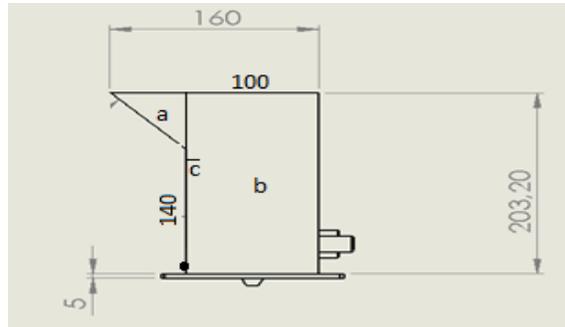
La función que tiene este elemento es almacenar el chocolate para que pueda ser fundido y posteriormente dosificado por las boquillas, no se va a hacer uso de toda su capacidad para que no se presenten derrames cuando el cilindro de empuje suba, el nivel del líquido no deberá superar los 140 mm de altura, por lo tanto el volumen de chocolate que podrá albergar será de;

$$Vol = Area * ancho; \quad (Ec. 9)$$

$$Area = base A * base B = 14 \text{ cm} * 10 \text{ cm} = 140 \text{ cm}^2; \quad (Ec. 10)$$

$$Vol = 140 \text{ cm}^2 * 22 \text{ cm} = 3080 \text{ cm}^3; \quad (Ec. 11)$$

Figura 2.2. Cotas de la tolva en Solidworks.

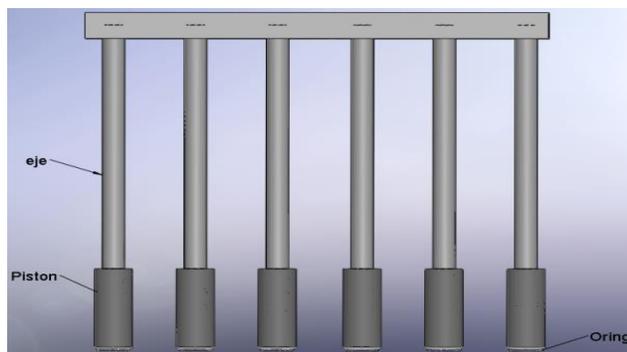


Fuente. Autor.

2.3. PISTONES DE DOSIFICACIÓN

Dentro de la tolva realiza el empuje vertical de la máquina permitiendo el deslizamiento del chocolate, aprovechando la gravedad para la dosificación como se observa en la (figura 2.3), cabe destacar que estos elementos van a estar en contacto con el chocolate, por lo cual los materiales a emplear son nylon para los pistones y acero inoxidable para los ejes.¹⁵

Figura 2.3. Pistones de dosificación diseñados en Solidworks.



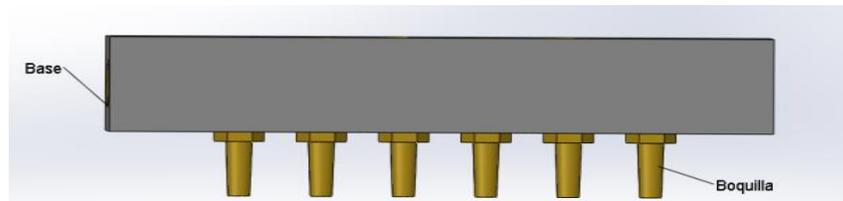
Fuente. Autor

¹⁵ [26] ANGARITA, Andrés Felipe. Adaptación y simulación para una dosificadora de chocolate. Pereira. Pág. 58. Trabajo de grado (Tecnología Mecatrónica), Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnologías.

2.4. BASE Y BOQUILLAS

La base cumple la función de guiar el chocolate hacia las boquillas para realizar la dosificación como se muestra en la figura 2.4, las boquillas contienen un diámetro de 2 mm por el tamaño del molde a dosificar, cabe destacar que las boquillas son intercambiables por si es necesario un tamaño mayor de dosificación de chocolate. Los materiales a emplear son: duraluminio en la parte de la base y en las boquillas bronce latón.

Figura 2.4. Base boquilla diseñada en el software Solidworks.

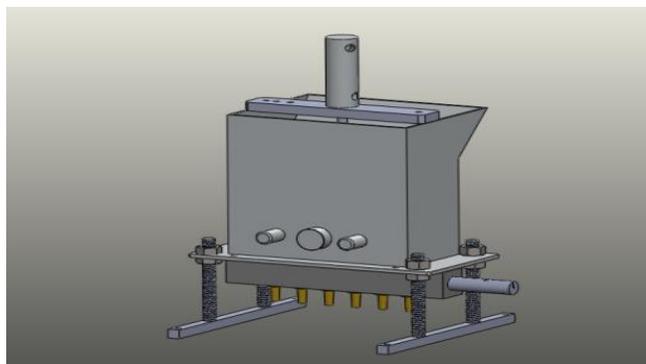


Fuente. Autor.

2.5. CONJUNTO TOLVA

Se encuentra en primera instancia el diseño parcial de la dosificadora, se puede observar una vista isométrica del diseño estructural como se ve en la figura 2.5, a partir de aquí podremos realizar el diseño y encontrar la posición de los demás componentes que hacen falta para realizar el ensamble total de la dosificadora

Figura 2.5. Conjunto de la tolva diseñado en el software Solidworks.



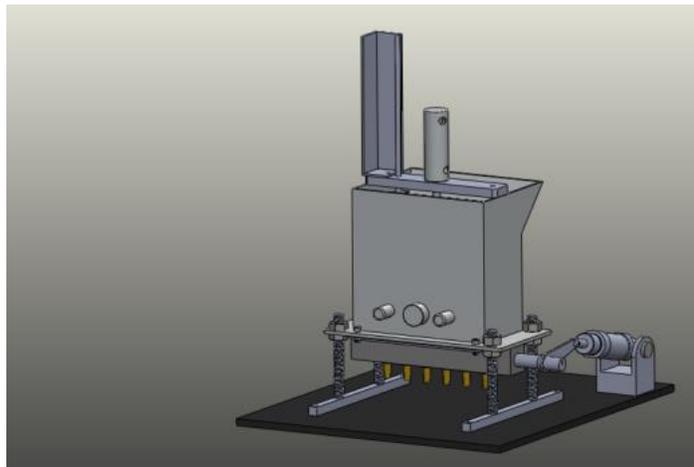
Fuente. Autor.

2.6. ENSAMBLE DOSIFICADORA

Finalizando la etapa del diseño estructural tendremos el ensamble final de la máquina dosificadora de chocolate, como se observa en la (figura 2.6).

Tendrá un funcionamiento en condiciones iniciales el cilindro A, el cual realiza el empuje vertical a los pistones para inyectar chocolate y el cilindro B realiza el movimiento para que el mecanismo mueva el eje y permita el paso del chocolate.¹⁶

Figura 2.6. Ensamble final de la dosificadora de chocolate, diseñada en el software Solidworks.

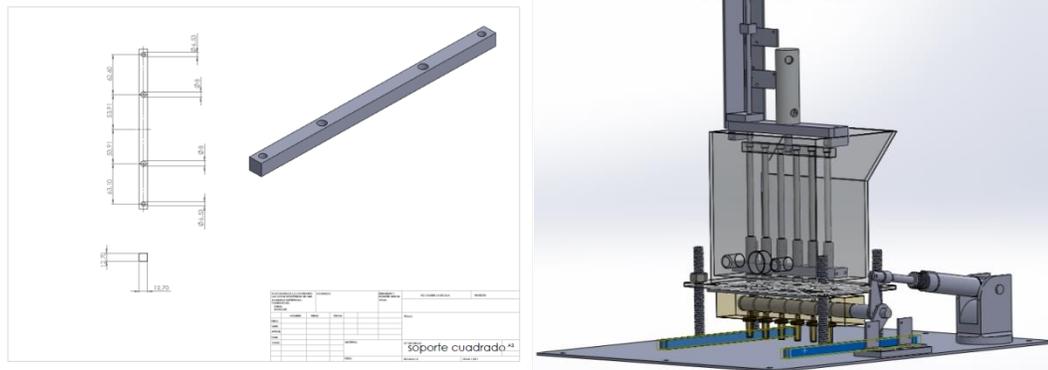


Fuente. Autor.

¹⁶ [26] ANGARITA, Andrés Felipe. Adaptación y simulación para una dosificadora de chocolate. Pereira. Pág. 58. Trabajo de grado (Tecnología Mecatrónica), Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnologías.

3. CONSTRUCCIÓN MECÁNICA

Figura 3.1 Soporte de espárragos.



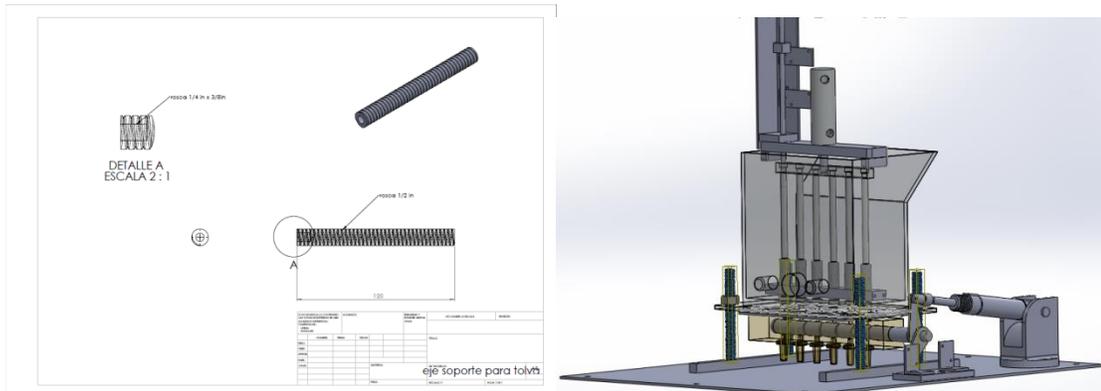
Fuente. Autores.

Función: Esta pieza sirve de soporte para los espárragos y así brindar estabilidad.

Fabricación: material acero inoxidable 304, se da un terminado final en las caras externas empleando una fresa y posteriormente se hacen las perforaciones con la ayuda de un taladro fresador.

Parámetros de diseño: Se escoge una pieza de sección longitudinal cuadrada de $\frac{1}{2}$ pulgada, para aprovechar estas propiedades geométricas que permiten una mayor estabilidad, los agujeros de $\frac{1}{4}$ de pulgada se realizan para que entre por debajo de forma abocardada, escondiendo así la cabeza del tonillo y la rosca quede pasante, para que allí se puedan asegurar los espárragos.

Figura 3.2 Ejes para tolva (espárragos)



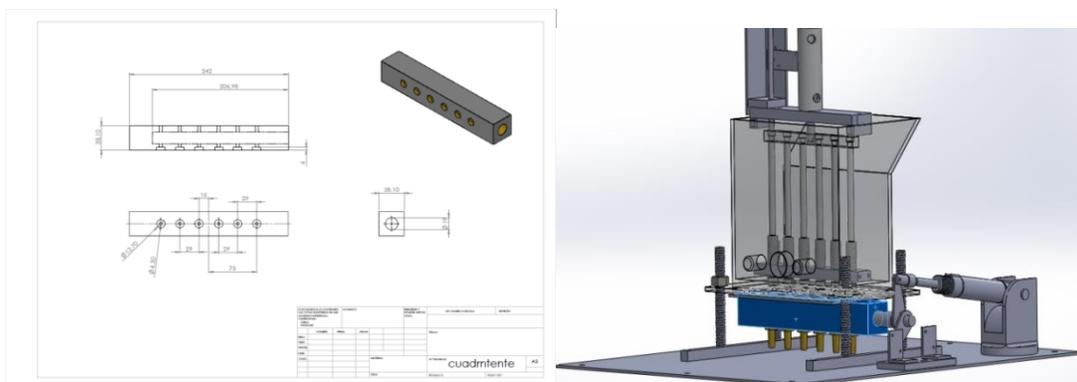
Fuente. Autores.

Función: Son las bases que sostienen y regulan la altura de la tolva, permitiendo que se realice un movimiento vertical para su calibración.

Fabricación: Se usó acero 1020 con un recubrimiento de galvanizado para que soportara los esfuerzos de compresión a los cuales iban a estar sometidos los espárragos, la operación de roscado se realiza en un torno convencional.

Parámetros de diseño: se escogió una sección circular para realizar una rosca exterior triangular que permita el desplazamiento vertical del conjunto que se sostiene sobre ellos, esta sección es de media pulgada para que soporte los esfuerzos de compresión.

Figura 3.3 Cuadrante dosificador.



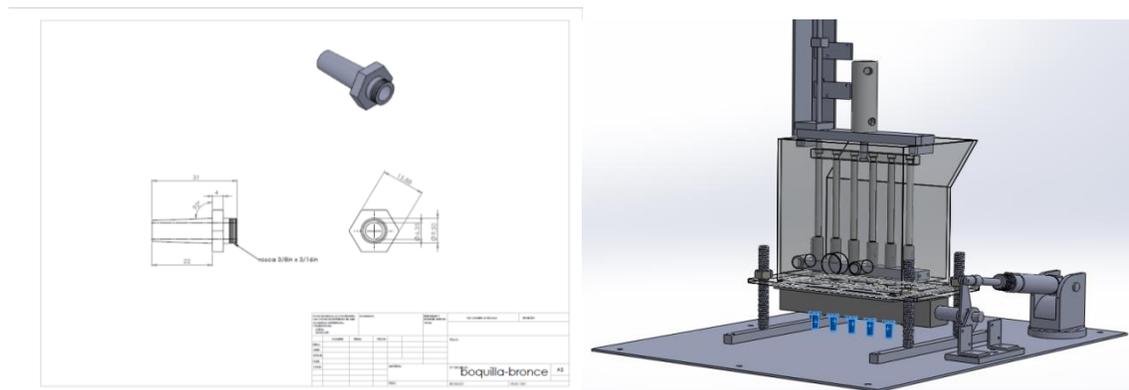
Fuente. Autores.

Función: Es el que se encarga de alojar el chocolate en la temperatura ideal entre 39 y 40 grados Celsius antes de ser dosificado.

Fabricación: Se usa aluminio 6013 para cumplir con las normas de saneamiento, se realiza las perforaciones pasantes en la sección cuadrada en una cara superior por medio de un taladro de árbol y se hace un refrentado en las dos caras laterales empleando un taladro fresador.

Parámetros de diseño: se escoge la pieza de sección rectangular por la necesidad de realizar las perforaciones por donde va a pasar el chocolate que se va a dosificar, estas perforaciones tienen un diámetro de 3/16 pulgadas debido a que esta es la medida de la boquilla que va a ingresar en esta cavidad para dosificar.

Figura 3.4 Boquillas para dosificación

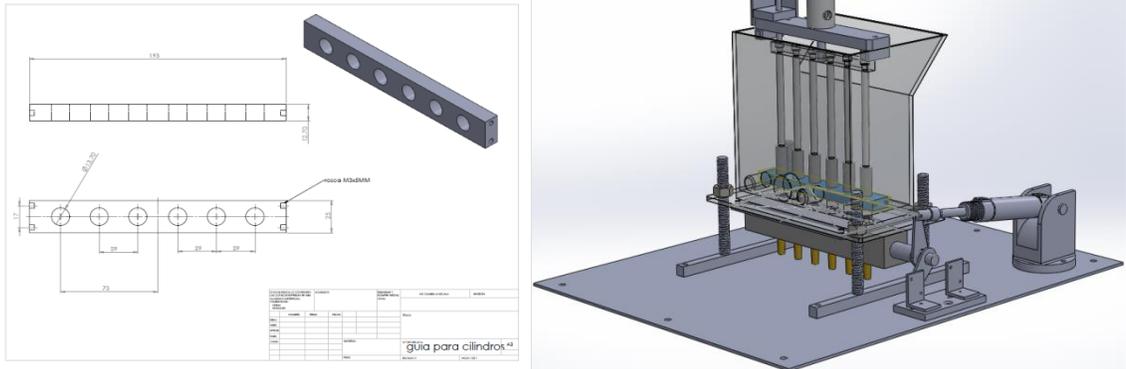


Fuente. Autores.

Función: Son las encargadas de dirigir la cantidad de chocolate dosificado hacia los moldes.

Fabricación: Material Bronce latón Hexagonal, se hicieron operaciones de torneado para darle la geometría cónica a la pieza, la rosca se realizó de manera manual utilizando una tarraja y la perforación que atraviesa la sección transversal de la boquilla se hizo empleando un torno convencional.

Figura 3.6 Guía para cilindros



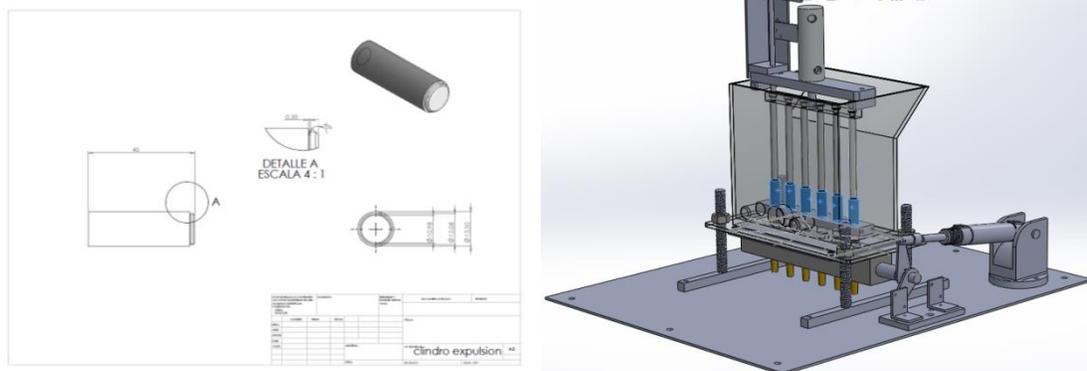
Fuente. Autores.

Función: Sirve para posicionar los émbolos del cilindros para inyectar el chocolate hacia las boquillas.

Fabricación: Se realiza en acero inoxidable para cumplir norma de saneamiento industrial, se corta el material de sección rectangular utilizando el taladrado fresador, y los agujeros utilizando el taladro fresador, en las caras laterales se hacen agujeros para realizar las roscas por medio de un machuelo utilizando el taladro fresador.

Parámetros de diseño: se realiza de sección rectangular para su fácil ensamble y sujeción permitiendo que los émbolos realicen el movimiento vertical inyectando la materia prima.

Figura 3.7 Pistón cilindro



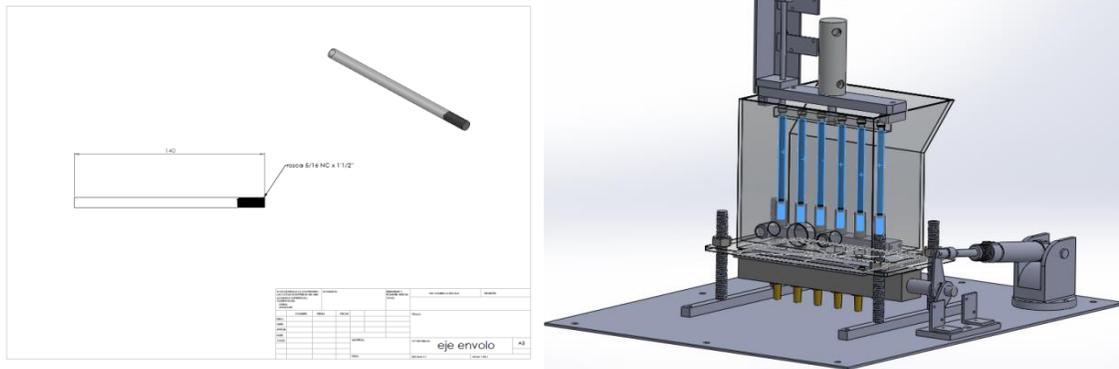
Fuente. Autores

Función: Son los encargados de inyectar el chocolate hacia las boquillas.

Fabricación: Se realiza en Nylon, para el cilindrado se utiliza un torno convencional para darle el acabado superficial, lleva una ranura para alojar un o-ring, en la cara inferior tiene perforación para realizar la rosca por medio de un machuelo con su volvedor.

Parámetros de diseño: Se diseña de geometría circular para permitir que el embolo realice el empuje vertical, en la parte delantera lleva una ranura donde se aloja un oring, permitiendo que no halla fugas de la materia prima al ser dosificada.

Figura 3.8 Eje émbolo.



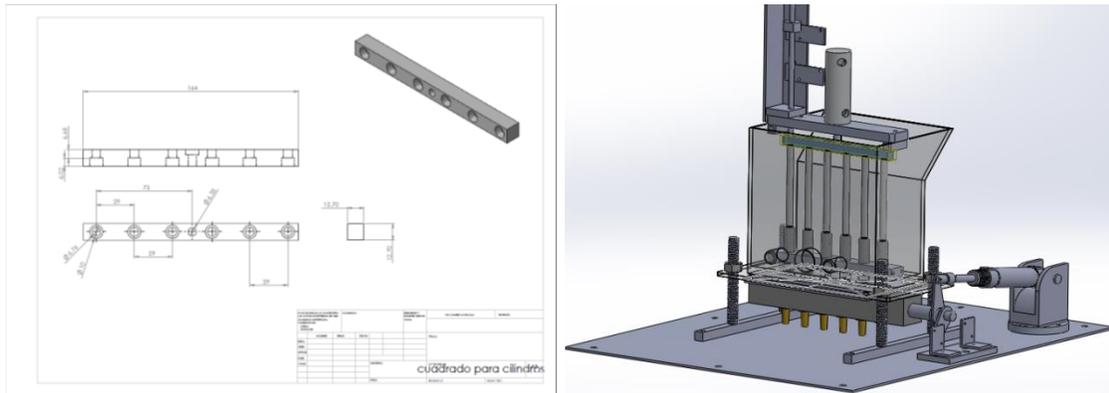
Fuente. Autores.

Función: Sirve de acople para el pistón de los inyectores.

Fabricación: Se utiliza acero inoxidable, para cumplir la norma de saneamiento industrial, lleva una operaciones de cilindrado para ajustar la medida del diámetro y realizar el roscado externo utilizando un torno convencional, en la cara inferior se hace un agujero para roscar maquina a emplear torno convencional.

Parámetros de diseño: Se realiza de sección circular para adaptarlo al pistón por medio de una rosca dando mayor estabilidad para dosificar, tiene la facilidad de desmontarla para mantenimiento o por algún defecto que se presente en el proceso.

Figura 3.9 Cuadrado para cilindro



Fuente. Autores.

Función: sirven para sujetar los ejes donde van los émbolos permitiendo inyectar el chocolate.

Fabricación: material acero inoxidable cuadrado para cumplir la norma de saneamiento industrial, lleva un refrentado en ambas caras laterales utilizando el taladro fresador y unos agujeros de diámetro 6.35 mm utilizando para esto el taladro fresador.

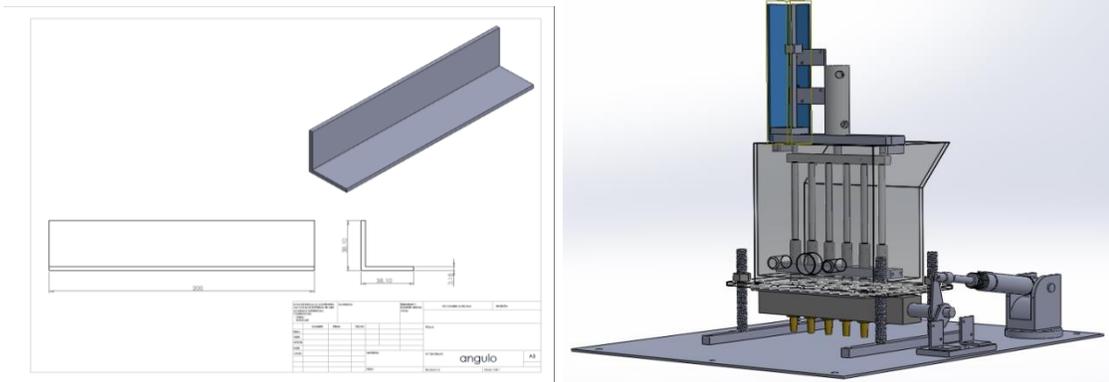
Parámetros de diseño: es de sección cuadrada para fácil montaje de los ejes, la distancia de las perforaciones están diseñadas para que cacen con los pistones y la perforación del centro para acoplarlo con el cilindro vertical y así realizar el movimiento para la dosificación.

Función: sirve de soporte para el cilindro de empuje vertical.

Fabricación: se emplea acero inoxidable 304 siguiendo las normas establecidas en el sector de alimentos, las perforaciones se realizan en el taladro de árbol y los chaflanes en las esquinas con una fresadora.

Parámetros de diseño: se escoge de sección rectangular de 37.5 milímetros de ancho y 12.7 milímetros de espesor, que brinde la estabilidad necesaria para que no vayan a haber vibraciones causadas por el movimiento del cilindro. Los chaflanes en las esquinas se realizan para que no queden filos vivos que se puedan causar heridas a los operarios.

Figura 3.12 Ángulo



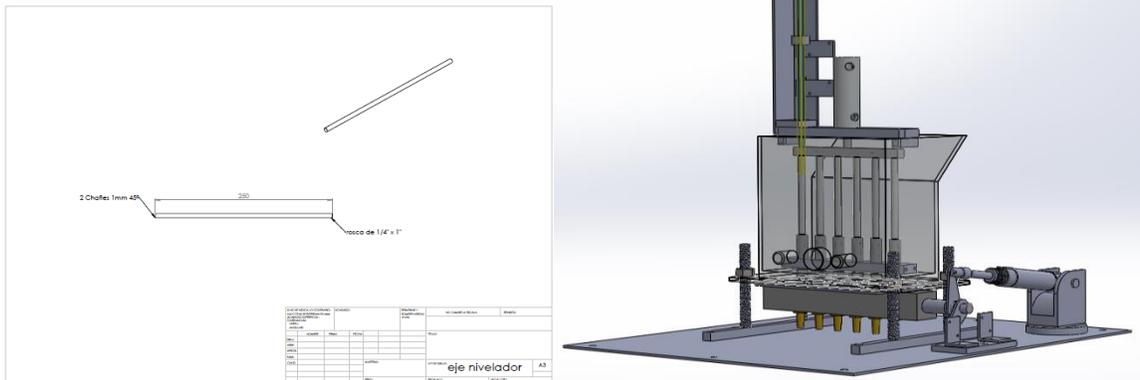
Fuente. Autores.

Función: sirve de soporte para posicionar los sensores finales de carrera del cilindro de empuje.

Fabricación: Se escoge un ángulo en aluminio 6013 debido a que este material es liviano y por su buena maleabilidad permite que se mecanice fácilmente, se realiza perforaciones empleando un taladro de árbol.

Parámetros de diseño: Se escoge un ángulo porque debido a sus características geométricas permite que se sujete fácilmente a la parte superior de la tolva, su espesor es de 1/8 pulgadas para que sea lo suficientemente estable y sus dimensiones son de 1 ½ pulgadas por 30 centímetros de alto para que pueda cubrir todo el desplazamiento del mecanismo de empuje.

Figura 3.13 Varilla reguladora para tope



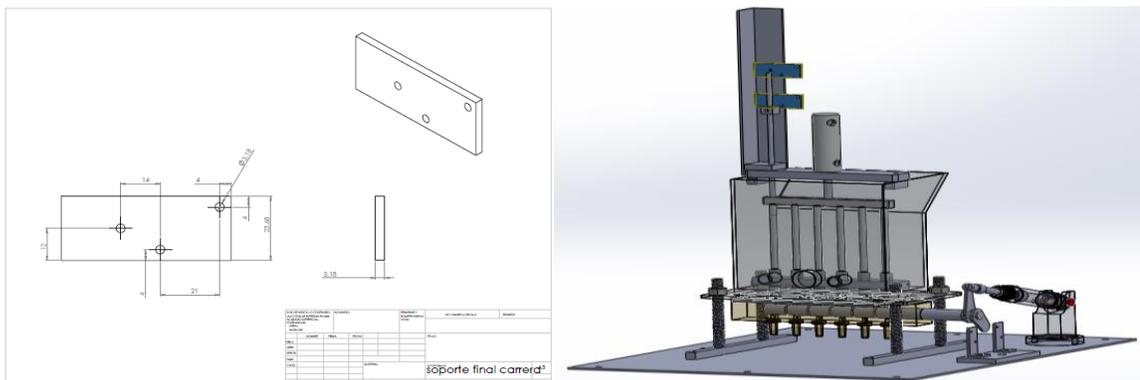
Fuente. Autores.

Función: Sirve para posicionar las dos posiciones de los sensores.

Fabricación: Acero inoxidable 304, cumpliendo con la norma para alimentos, para el corte del eje se realiza en una sierra mecánica dejando una tolerancia para refrendarla y dejarla a la medida final de 300 mm la máquina que se emplea para esto es un torno convencional.

Parámetros de diseño: Es de sección circular para permitir un mejor deslizamiento del eje evitando algún rozamiento con alguna pieza, desde el punto de fabricación es más fácil, rápido y económico para producirlo.

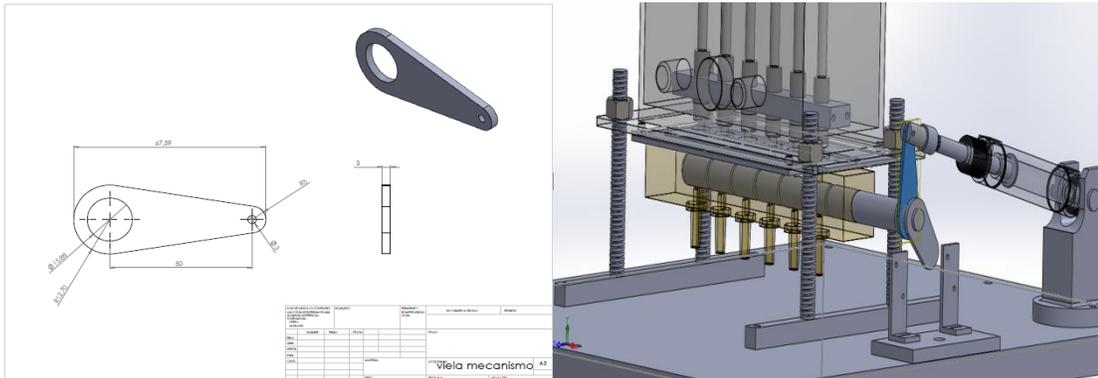
Figura 3.14 Platina para finales de carrera



Fuente. Autores.

Función: Son el soporte para posicionar y ensamblar los sensores finales de carrera.

Figura 3.16. Barra mecanismo



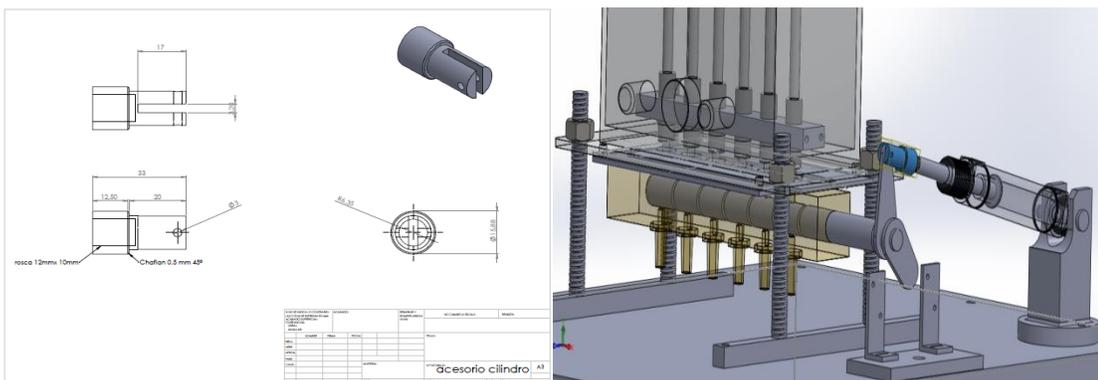
Fuente. Autores.

Función: Es el que permite el movimiento del cilindro con el eje para permitir el paso de chocolate.

Fabricación: material aluminio 6013 operaciones fue de fresado para los contornos y de perforado para los agujeros la maquina a emplear es el taladro fresador.

Parámetros de diseño: Es de sección rectangular, con radios en los extremos para evitar aristas de corte y darle una presentación a la pieza, con respecto a la perforación lleva un ajuste en su interior para poder ensamblar y case con el eje.

Figura 3.17 Eje acople biela-manivela



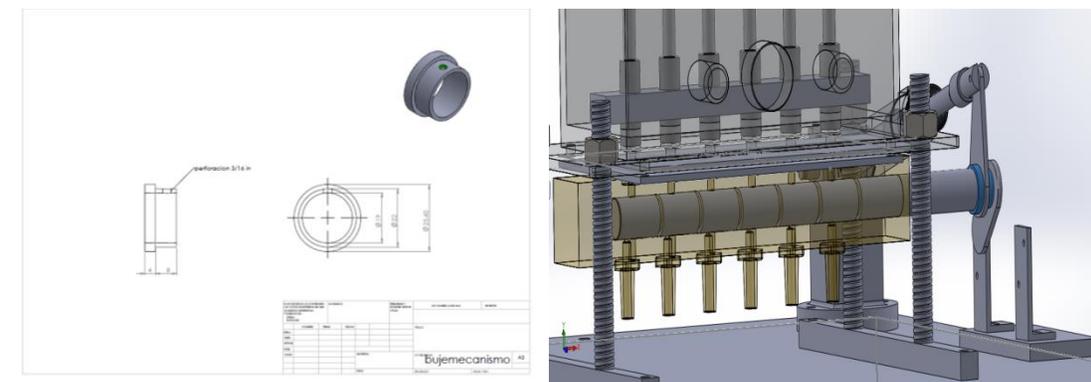
Fuente. Autores.

Función: Sirve para conectar el eje del cilindro con el mecanismo de la biela.

Fabricación: Material aluminio 6013, se emplea para el cilindrado, y refrentado de la pieza un torno convencional según las especificaciones del plano, para la ranura 3 mm y la el agujero de diámetro 2 mm se realiza en la máquina taladro fresador, finalizando para el roscado interno se utiliza un machuelo de 12 mm empleando un volvedor manual.

Parámetros de diseño: Es de sección circular para su fácil conexión con el eje del cilindro y el mecanismo, desde el punto de fabricación tiene una geometría de fácil mecanizado reduciendo los costos de manufactura.

Figura 3.18 Buje eje-manivela



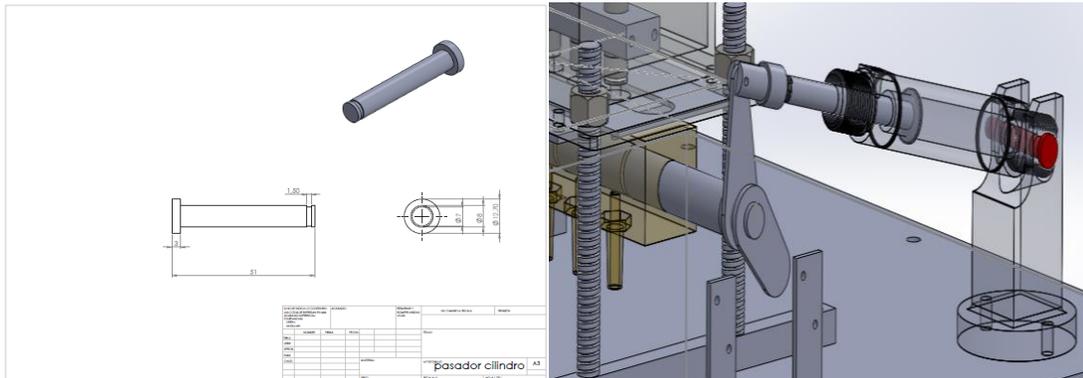
Fuente. Autores.

Función: Este eje permite el acople entre el eje de rotación y la manivela.

Fabricación: Se utiliza aluminio 6013 por que posee buenas características que permiten facilitar su mecanizado, además que soporta las fuerzas a las cuales va a estar sometida la pieza, para su fabricación primero se realiza un torneado para darle la medida requerida y después empleando una mesa divisora se realiza la perforación en el taladro fresador.

Parámetros de diseño: se escoge un buje de 13 milímetros para acoplarlo al eje de rotación en un extremo y con la manivela en el otro. Se desbasta en el extremo donde encaja la manivela para que esta pueda llegar a un tope y pueda ser asegurada por un prisionero de 1/8 de pulgada para evitar cualquier movimiento y así el rozamiento de las capas externas.

Figura 3.19 Eje pasador cilindro biela.



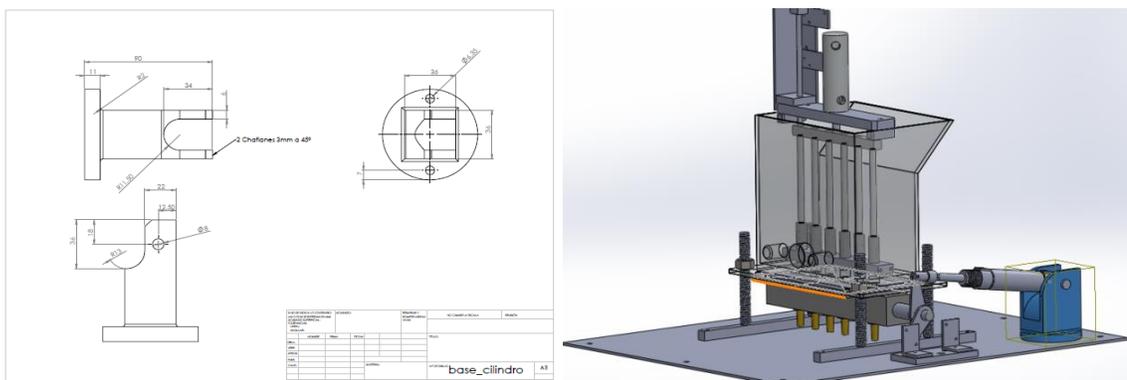
Fuente. Autores.

Función: Permite unir y asegurar el agujero del cilindro con el agujero de la base.

Fabricación: Material acero inoxidable 304 se realiza un refrentado, cilindrado y ranurado según especificaciones del plano, estas operaciones se hacen el torno convencional, en las caras laterales lleva un chaflán de 0.2 mm a 45° empleando también el torno.

Parámetros de diseño: Es de sección circular por su fácil acople debido al ajuste que lleva al eje, lleva una ranura el eje asegurándolo con una arandela para que no se salga de la base, lleva chafan a 45° en ambas puntas evitando aristas de corte previniendo cortaduras.

Figura 3.20 Base para cilindro



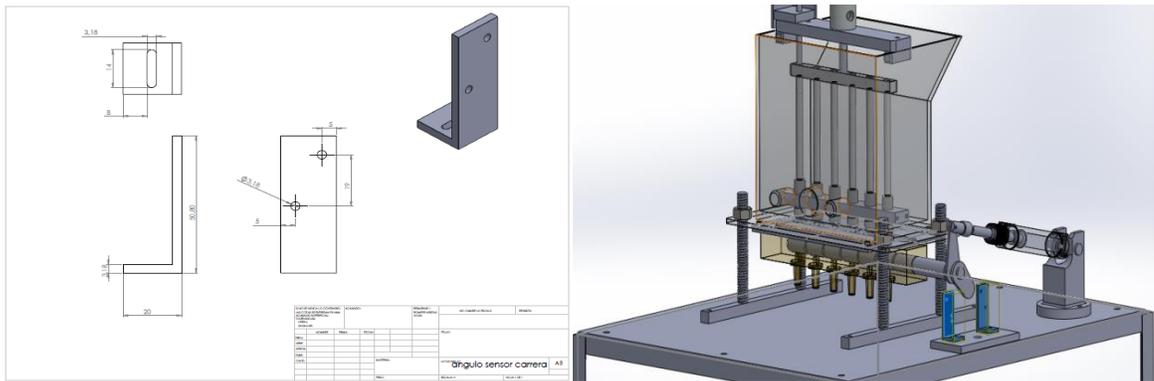
Fuente. Autores.

Función: sirve de base para el cilindro.

Fabricación: aluminio 6013 las operaciones fue de fresado para realizar el desbaste y el contorno de los radios, taladrado para los agujeros, las maquinas a emplear Taladro fresador.

Parámetros de diseño: Es de sección rectangular para su fácil mecanizado lleva redondeos en las puntas para darle una mejor presentación a la pieza, esta geometría permite que el cilindro pueda girar sin que choque contra las paredes de la base.

Figura 3.21 Platina para finales de carrera



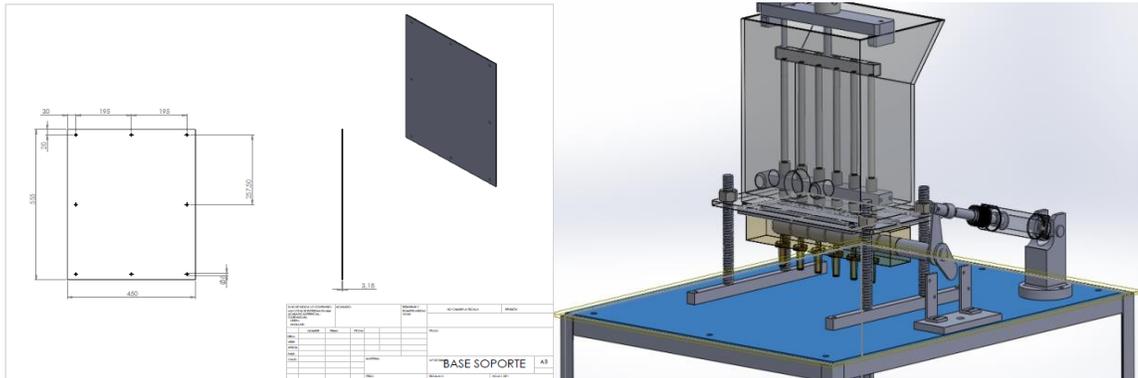
Fuente. Autores.

Función: Sirve de soporte para montar los cilindros.

Fabricación: Material ángulo aluminio 6013 se realiza un refrentado para dejar la pieza con la medida requerida por el plano, se hacen dos 2 agujeros de 3.18mm y una corredera de 4mm con un ancho de 20mm utilizando una fresa, la maquina a emplear es un taladro fresador.

Parámetros de diseño: Tiene una geometría en L para fácil montaje, tiene un diseño una corredera lo que permite regular la posición del sensor, es de fácil fabricación por su forma y por las operaciones a emplear.

Figura 3.22 Lámina base estructura



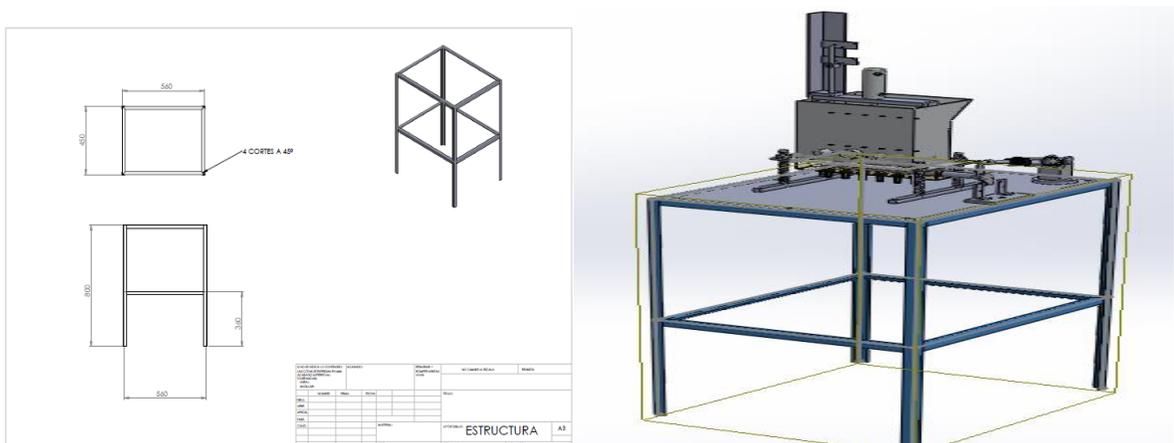
Fuente. Autores.

Función: Sirve de soporte para la tolva y los demás componentes.

Fabricación: Lamina cold role, se emplea una cortadora para los cortes especificados en el plano, lleva 6 agujeros de diámetro 8 mm utilizando un ladrillo de columna.

Parámetros de diseño: Es de sección rectangular por el diseño de la estructura.

Figura 3.23 Estructura



Fuente. Autores.

Función: Sirve de base para los componentes de la máquina.

Fabricación: Material ángulo HR de 1"1/2 se realizan los cortes de los ángulos según especificaciones del plano, empleado la sierra mecánica, para la unión de los ángulos se emplea un soldar eléctrico.

Parámetros de diseño: Se diseña en ángulo la estructura para darle rigidez y la estabilidad evitando pandeo en la estructura, la altura de la estructura es acorde para realizar el proceso de dosificación.

4. CONSTRUCCIÓN ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

4.1. INTERRUPTOR MAGNETO-TÉRMICO

Tienen como función proteger los circuitos contra sobrecargas y cortocircuitos. Para ello disponen de dos relés independientes, uno para las sobrecargas y otra para los cortocircuitos. La acción de cualquiera de ellos ordena la apertura de los contactos y el corte de la sobre intensidad, el cierre del circuito suele ser manual y la apertura automática al producirse una sobre intensidad.¹⁷

Para escoger el valor de amperaje correcto del interruptor magneto-térmico se debe establecer la potencia que van a consumir todos los elementos eléctricos de la máquina.

Tabla 4. Consumos de potencia eléctrica.

ELEMENTO ELÉCTRICO	CONSUMO DE POTENCIA (watts)
Fuente regulada de 24 VDC	60
PLC DVP12SA	3.5
2 electro-válvulas	$3.16 \times 2 = 6.38$
Controlador PID industrial	5
Resistencia eléctrica	500
TOTAL	580.88

Fuente. Autores

Como se pudo determinar el consumo total de potencia eléctrica es de 580.88 Watts, para determinar la corriente que debe tener el interruptor magneto-térmico, se aplica la ley de ohm.

¹⁷ [8] CENTRO INTEGRADO DE FORMACIÓN PERSONAL, Plataforma formativa digital, Contenidos online, Madrid, 2012. Disponible en (<http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/contenidos/4/sobreintensidades.pdf>).

$$P = V * I \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde,

P= potencia eléctrica, V: voltaje, I: intensidad.

Despejando,

$$I = \frac{P}{V} = \frac{580.88 \text{ Watts}}{110 \text{ Vatios}} = 5,280 \text{ Amperios} \quad (\text{Ec. 13})$$

Después de realizar el análisis de las cargas eléctricas en el circuito, se llega a la conclusión de que se debe utilizar un interruptor magneto-térmico de 6 amperios, debido a que comercialmente es el valor de corriente más cercano que se encuentran estos dispositivos a 5,280 amperios.

Figura 4.1. Interruptor magneto-térmico unipolar 6 amperios.



Fuente. Autores.

4.2 FUENTE REGULADA DE 24 VDC

Debido a que el PLC debe ser alimentado con 24 VDC, es necesario utilizar una fuente de voltaje que suministre el potencial necesario para que el PLC DVP12SA pueda trabajar correctamente.

Se decide usar una fuente regulada de 24 VDC de la marca Delta, pues al ser el mismo fabricante del PLC se puede asegurar totalmente su compatibilidad. Cabe destacar que esta fuente debe ser alimentada con 110 VAC, voltaje del cual se tiene disponibilidad en el tablero de distribución eléctrica de la máquina.

Figura 4.2. Fuente 24 VDC Delta D0116888.



Fuente. <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/345861/DELTA/D0116888.html>

4.3 PLC DVP-12SA11R

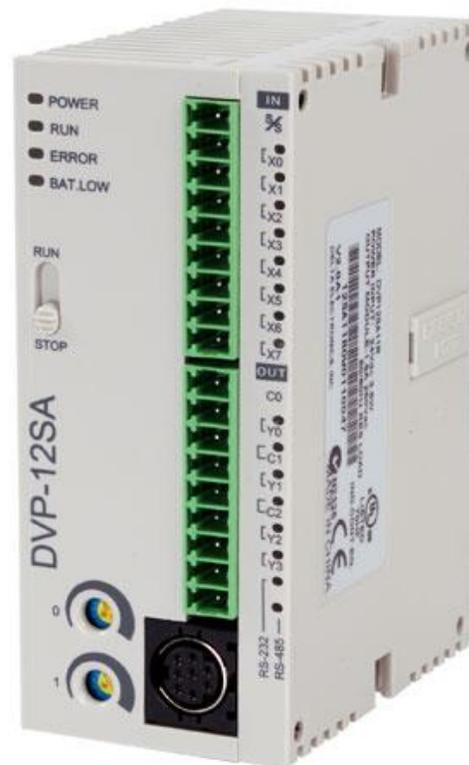
Para realizar el control de la automatización existen diferentes dispositivos capaces de realizar esta acción, como los son los microcontroladores y los PLCs, sin embargo por facilidad de programación y de instalación, además de la robustez que ofrece se escoge un PLC, brindando así mayor fiabilidad en la operación de la máquina.

El PLC que se ajusta las necesidades del desarrollo que se plantea, aunque debe mencionarse que no son muchas las exigencias, es el PLC de la marca Delta DVP-12SA11R

Especificaciones

- Puntos del MPU: 12 (8 entradas y 4 salidas).
- Salidas tipo relé.
- Capacidad máxima de entradas y salidas: 236.
- Capacidad de programación: 8K en pasos.
- Puerto de comunicaciones: Diseñado con RS-232 y RS-485, compatible con los puertos de comunicación MODBUS ASCII / RTU.
- Salida de pulsos de alta velocidad: Soporta 2 salidas independientes (Y0 de hasta 50KHz Y1 de hasta 100KHz).
- Acoplado a 4 tipos de hardware de contadores de alta velocidad.

Figura 4.3. Controlador Lógico Programable DVP12SA11R.



Fuente. <http://www.lubielectronics.com/Productdisplay.php?pid=686&SID=19>

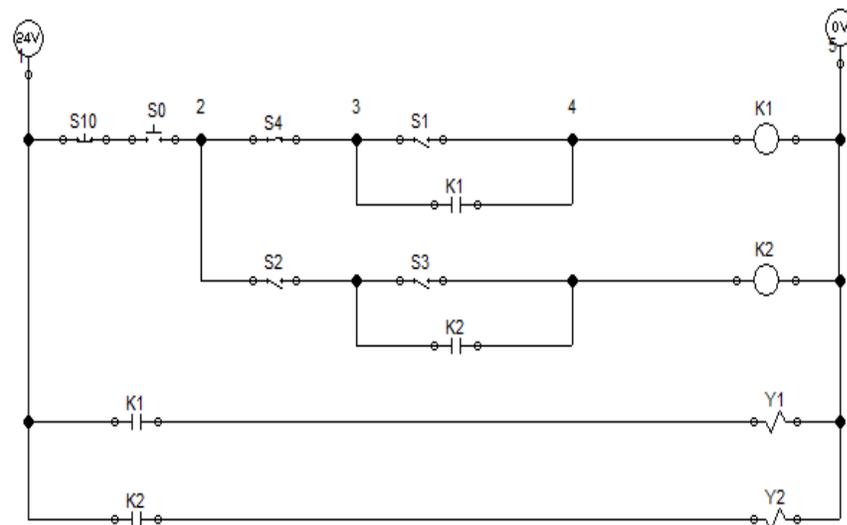
4.3.1 Diagrama Ladder

En la primera línea se observa a S10 como pulsador NC de emergencia, el pulsador NA de inicio S0 es quien permite que se active el relevo K1, siempre y cuando el contacto NC sensor s2 se encuentre desactivado y el contacto NA del sensor S1 se active. El contacto NA de K1 es usado para mantener energizado el relevo K1, así S1 ya no este activado.

En la segunda línea de control solo existen dos condiciones para que se active el relevo K2, la primera es que se active el contacto NA del sensor S2 y la segunda es que se active el contacto NA del sensor S3. El contacto NA de K2 es usado para mantener energizado el relevo K2, así S3 ya no este activado.

En las últimas dos líneas que es la parte de potencia, los contactos NA de los dos relevos activan respectivamente las dos electro-válvulas que comandan los dos cilindros quienes realizan la secuencia.

Figura 4.3.1. Programa en Ladder de la secuencia en FluidSIM.



Fuente. Autores.

4.3.2 Programación PLC

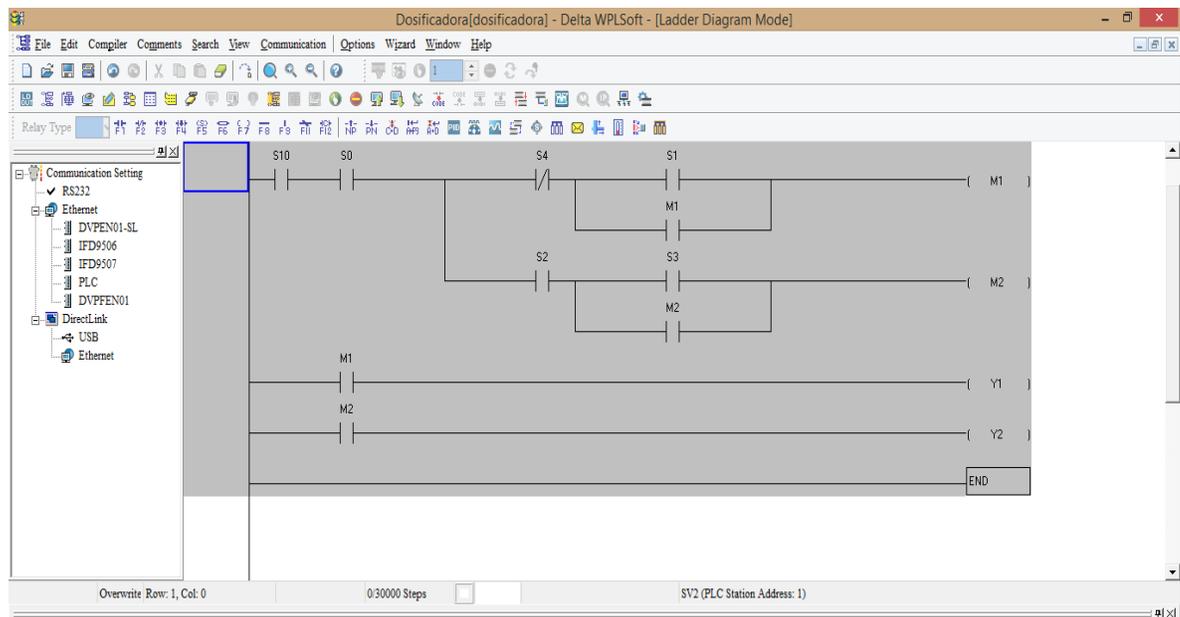
Para programar el PLC DVP-12SA de la marca delta se debe utilizar el software Delta WPLSoft, el cual se puede descargar de forma gratuita desde la página del fabricante.

El software WPLSoft permite realizar la programación del PLC usando lenguajes de programación como Ladder, SFC y lista de instrucciones.

Ladder es un lenguaje gráfico de contactos que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos, el SFC o Sequential function chart, es un lenguaje gráfico orientado en el popular lenguaje GRAFCET y lista de instrucciones que es un lenguaje escrito utilizando lógica booleana. Cada uno de ellos es recomendable según la aplicación, debido a que la secuencia que se desea realizar es muy sencilla, se decide por usar el lenguaje Ladder por su facilidad de programación.

En la siguiente imagen se puede observar el programa en Ladder de la secuencia que se desea realizar.

Figura 4.3.2. Diagrama Ladder de la secuencia utilizando WPLSoft.



Fuente. Autores

4.3.3 Comunicación PC – PLC

Para realizar la respectiva programación, el Plc DVP 12SA se pueden utilizar los protocolos de comunicación serial R2-232 y RS-485, en este caso va a ser utilizada la comunicación RS-232 pues cumple con todas las necesidades a satisfacción y no son requeridas la velocidad, ni la distancia que ofrece el protocolo RS-485.

El cable de programación que es utilizado para programar el dispositivo, es un cable de terminal DV9 a terminal Mini DIN 9, como ahora es difícil encontrar computadores que tengan conector hembra DV9, fue necesario utilizar un convertidor serial de DV9 a USB y así poder conectar correctamente el PC al PLC.

Figura 4.3.3. Cable DV9 a mini DIN 9.



Fuente. http://www.krp.com/6-DB9-MALE-TO-9-PIN-MINI-DIN-SHARP-SERIAL-INTERFACE-CABLE_p_552.html

Figura 4.3.3.2. Convertidor serial DV9 a USB.

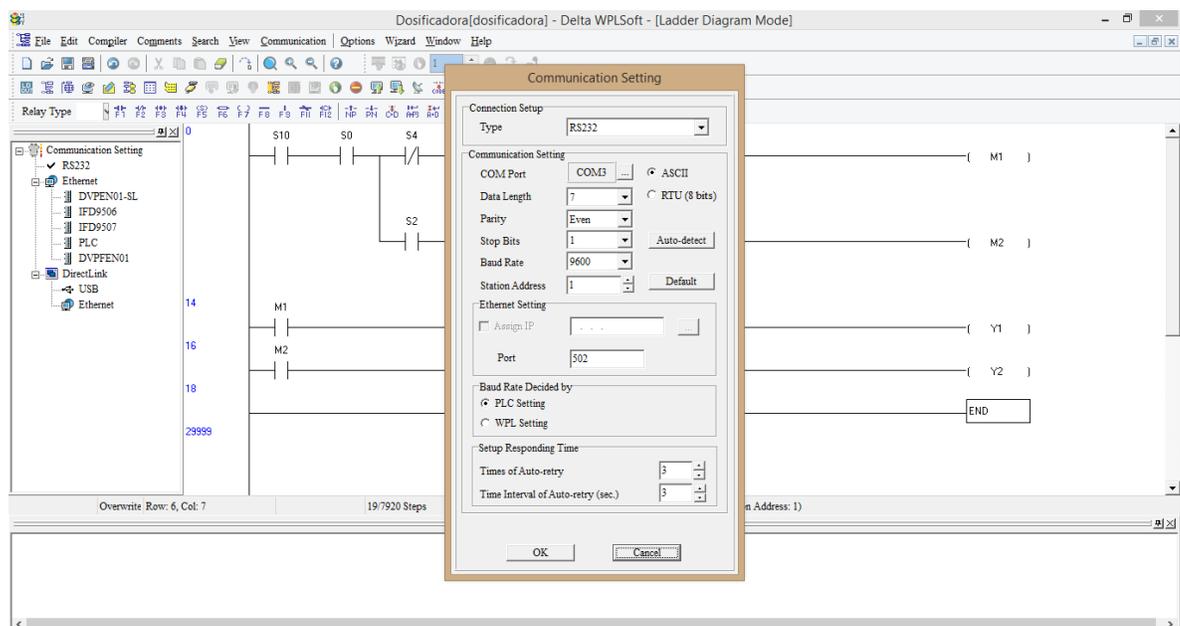


Fuente. <http://www.conectrolinformatica.com/datos/2193-conversor-usb-rs232.html>

4.3.4 Configuración del PLC

A continuación se indican los parámetros de configuración de la comunicación entre el PC y el PLC, la cual se debe realizar dentro de la interfaz del programa WPLSoft.

Figura 4.3.4. Opciones de configuración de la comunicación entre PC-PLC en WPLSoft.



Fuente. Autores

En la imagen anterior se verifica como fueron configurados algunos parámetros muy importantes a la hora de establecer una comunicación correcta entre el PC y el PLC, para así poder descargar el programa al dispositivo programable, entre ellos están: COM Port, es el puerto de nuestro PC en el cual conectamos el terminal USB de nuestro cable, Data Length, la longitud máxima en bits de los datos a transmitir, Baud Rate, la velocidad de transmisión en Baudios.

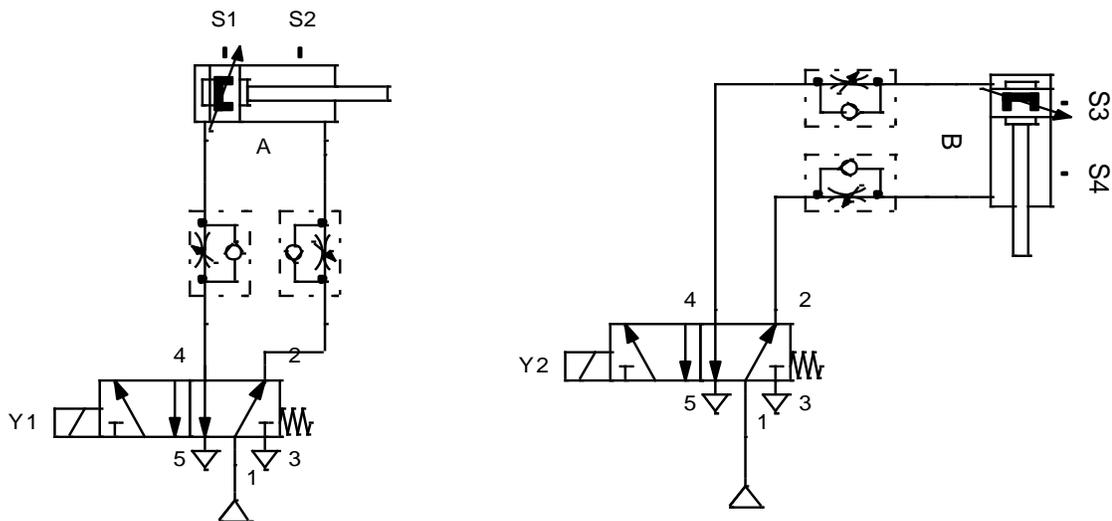
4.4 SISTEMA ELECTRO-NEUMÁTICO

Para realizar la simulación del circuito electro-neumático de la máquina se usa el software Fluid Sim de Festo porque cuenta con todas las herramientas necesarias para desarrollar el diseño y una simulación que permita predecir un correcto funcionamiento del circuito, además que es muy fácil acceder a él, pues en la página www.Festo.com se encuentra una versión de prueba totalmente gratuita.

Los elementos necesarios del circuito electro-neumático son: dos cilindros neumáticos de doble efecto, dos electro-válvulas monoestables 5/2, cuatro finales de carrera, dos relevos, un pulsador de emergencia y un pulsador de inicio.

A continuación se puede observar los dos cilindros que deben seguir la secuencia: A+ B+ A- B-, conectados a sus electro-válvulas de mando accionadas cada una por una bobina respectivamente y realizando su retorno por resorte, posteriormente se observa la programación en Ladder de la secuencia anteriormente mencionada.

Figura 4.4. Conexión de cilindros y electro-válvulas en FluidSIM.



Fuente. Autores

4.4.1 Electroválvula neumática

Para controlar el flujo del aire comprimido que va alimentar los cilindros, se utiliza un par de electroválvulas de 5 vías y dos posiciones, debido a que son cilindros de doble efecto. Su accionamiento se realiza por solenoide a 110 VAC y su retorno por resorte.

Figura 4.4.1. Electro-válvula 5/2 monoestable, salida de 1/4 NPT y bobina a 110 VAC.



Fuente: http://automaqperu.com/ver_producto_marca.php?ip=1651&ipp=1503

Se escoge una bobina a este voltaje puesto que es mucho más sencillo encontrar este voltaje en la industria y además de eso reduce la corriente que circula por las salidas del PLC. Las salidas de aire de las electroválvulas son de 1/4 para rosca NPT. Es importante destacar que en sus respectivos escapes se utilizarán unos silenciadores en bronce (figura) y así evitar sonidos molestos que además pueden ser perjudiciales para la salud auditiva de los operarios de la máquina.

Figura 4.4.1.2. Silenciador en bronce con regulador de flujo.



Fuente: <http://www.taylorsa.cl/catalogo/neumatica/silenciadores/silenciador-bronce-sinterizado-con-regulador-de-flujo/>

4.4.2 Relé electro-magnético

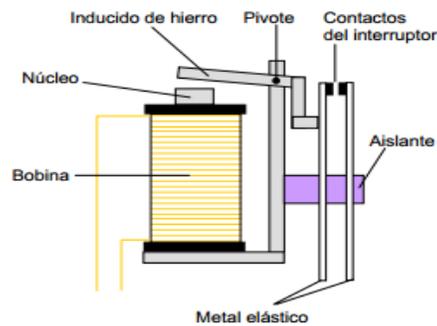
La únicas cargas que va a manejar el PLC son las dos bobinas de las electroválvulas, a pesar de que consumen muy poca corriente, 29mA cada una, existe la posibilidad de que alguna de estas solenoides falle y cause algún daño en las salidas del controlador programable, por este motivo se decide hacer uso de una interface basada en relés.¹⁸

El relé más sencillo está formado por un electroimán como el descrito anteriormente y un interruptor de contactos (Fig. 4.4.2). Al pasar una pequeña corriente por la bobina, el núcleo se imanta y atrae al inducido por uno de sus extremos, empujando por el otro a uno de los contactos hasta que se juntan,

¹⁸ [18] Instituto nacional de tecnologías educativas y de formación del profesorado. Tecnología. Apuntes. El relé. Madrid, España. Disponible en (<http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>)

permitiendo el paso de la corriente a través de ellos. Esta corriente es, normalmente, mucho mayor que la que pasa por la bobina.¹⁹

Figura 4.4.2. Partes que conforman un relé electro-magnético.



Fuente: <http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>

Figura 4.4.2.1. Relé electro-magnético de 8 pines, 110 VAC.



Fuente: <http://es.aliexpress.com/item/Free-Shipping-LY2-8-Pin-110V-120V-AC-Plug-in-Electromagnetic-Relay/982215322.html>

¹⁹ [18] Instituto nacional de tecnologías educativas y de formación del profesorado. Tecnología. Apuntes. El relé. Madrid, España. Disponible en (<http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>)

4.4.3 Sensores finales de carrera

Los interruptores o sensores finales de carrera se utilizan para avisar cuando un elemento móvil ha llegado a determinado punto y así el sistema puede avanzar o tomar otra decisión.

Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de finales de carrera que existen en mercado.

Figura 4.4.3. Sensor final de carrera.



Fuente. Autores

4.4.4 Cilindros neumáticos de doble efecto

Los cilindros neumáticos son unidades que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética o en fuerzas prensoras. Básicamente consisten en un recipiente cilíndrico provisto de un émbolo o pistón. Al introducir un determinado caudal de aire comprimido, éste se expande dentro de la cámara y provoca un desplazamiento lineal. Si se acopla al embolo un vástago rígido, este mecanismo es capaz de empujar algún elemento, o simplemente sujetarlo. La fuerza de empuje es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón²⁰:

²⁰ [12] CREUS SOLÉ, Antonio. Neumática e hidráulica. 2da edición. Año 2007. Editorial Marcombo S.A. Pág.436

$$F = p * A \quad (Ec. 14)$$

Donde:

F = Fuerza; p = Presión manométrica; A = Área del émbolo o pistón

En el desarrollo planteado es necesario utilizar dos cilindros neumáticos, uno que permita que fluya el chocolate dosificado, llamado A y otro que realice el empuje vertical del mismo, llamado B.

Para hallar el diámetro y émbolo del cilindro, fue necesario calcular el peso que el cilindro va a soportar, para así encontrar las características del cilindro que se necesita según la tabla que está a continuación.

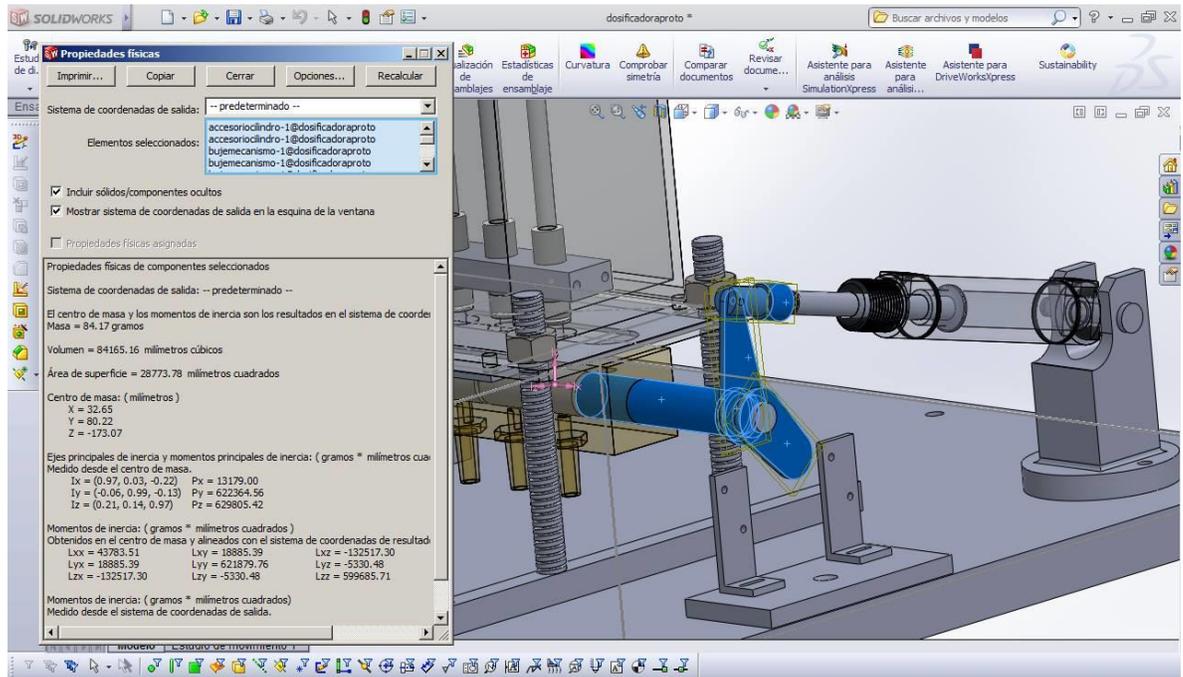
Tabla 5. Fuerza de empuje y retroceso por el área del vástago del pistón en el retroceso.

Fuerza de empuje actuando el aire en toda el área del pistón						Fuerza a restar por el área del vástago del pistón en el retroceso					
Diámetro del cilindro (mm)	Área del pistón (mm ²)	Fuerza de empuje en Newton a varias presiones (bar)				Diámetro vástago del pistón (mm)	Área del vástago del pistón (mm ²)	Fuerza de retroceso a varias presiones (Newton)			
		1,0	5,0	7,0	10,0			1,0	5,0	7,0	10,0
6	28	2,8	14,1	19,8	28,3	4	13	1,3	6,3	8,8	12,6
8	50	5,0	25,1	35,2	50,2	6	28	2,8	14,1	19,8	28,3
10	79	7,9	39,3	55,0	78,5	8	50	5,0	25,1	35,2	50,2
12	113	11,3	56,5	79,1	113,0	10	79	7,9	39,3	55,0	78,5
14	154	15,4	76,9	107,7	153,9	12	113	11,3	56,5	79,1	113,0
16	201	20,1	100,5	140,7	201,0	16	201	20,1	100,5	140,7	201,0
20	314	31,4	157,0	219,8	314,0	20	314	31,4	157,0	219,8	314,0
25	491	49,1	245,3	343,4	490,6	25	491	49,1	245,3	343,4	490,6
32	804	80,4	401,9	562,7	803,8	32	804	80,4	401,9	562,7	803,8
40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0	40	1.257	125,6	628,0	879,2	1.256,0
50	1.963	196,3	981,3	1.373,8	1.962,5						
63	3.117	311,6	1.557,8	2.181,0	3.115,7						
80	5.027	502,4	2.512,0	3.516,8	5.024,0						
100	7.854	785,0	3.925,0	5.495,0	7.850,0						
125	12.272	1.226,6	6.132,8	8.585,9	12.265,6						
160	20.106	2.009,6	10.048,0	14.067,2	20.096,0						
200	31.416	3.140,0	15.700,0	21.980,0	31.400,0						

Fuente. Neumática e hidráulica Antonio Creus Solé pág. 30

Para hallar el peso de cargar que va accionar el cilindro, se utilizó el software Solidworks, el cual nos proporciona algunas propiedades de los elementos seleccionados, entre ellas, la masa.

Figura 4.4.4.1. Propiedades físicas de cargas del cilindro A, Solidworks.



Fuente: Autores

Como se observa en la figura anterior la masa de los elementos que moverá el cilindro A es de 84,17 gramos.

$$Peso = masa * gravedad; \quad (Ec. 15)$$

$$Peso = 84,17 \text{ gramos} * 9,8 \frac{\text{metros}}{\text{segundos}^2};$$

$$Peso = 825.86 \text{ Newton}$$

Teniendo en cuenta que la presión del aire comprimido que va a alimentar la máquina es de aproximadamente 7 BAR, se puede observar en la tabla mencionada que el diámetro del cilindro debe ser de 25 milímetros y el diámetro del émbolo de 15 milímetros.

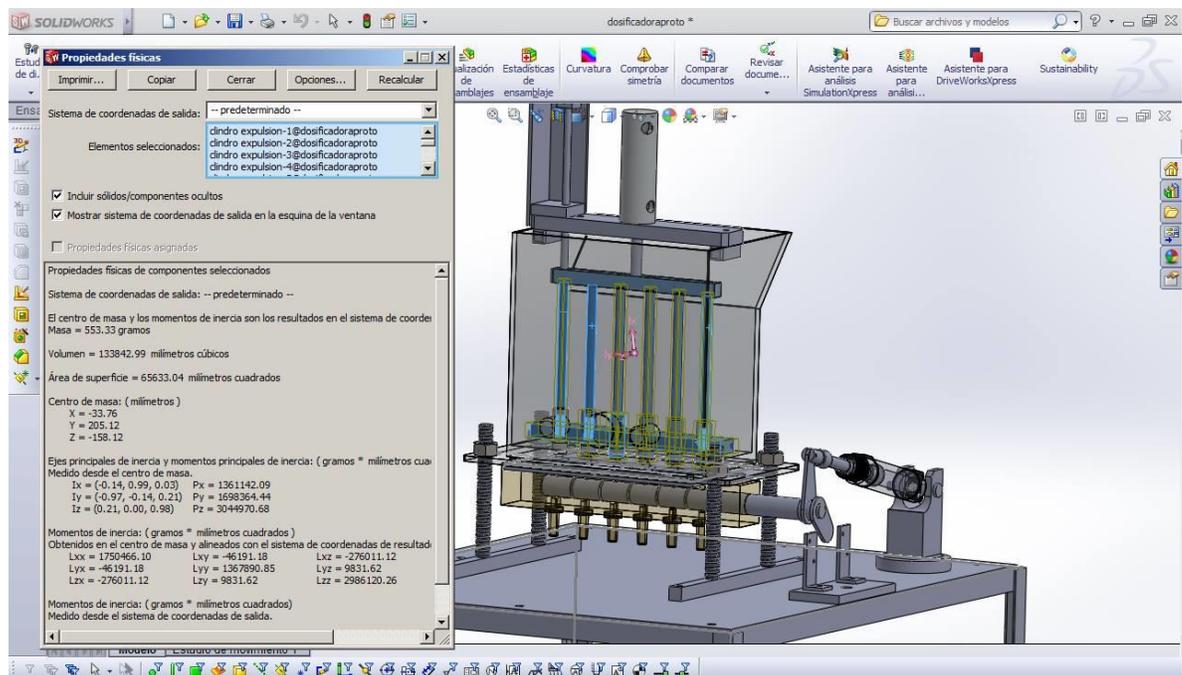
Figura 4.4.4.2. Cilindro neumático de doble efecto A.



Fuente: <http://www.atcmexico.com.mx>

Para seleccionar las características del cilindro B se siguen los mismos pasos que se realizaron para el cilindro A.

Figura 4.4.4.3 Propiedades físicas de cargas del cilindro B, Solidworks.



Fuente: Autores.

$$Peso = masa * gravedad; \quad (Ec. 15)$$

$$Peso = 51,87 \text{ gramos} * 9,8 \frac{\text{metros}}{\text{segundos}^2};$$

$$Peso = 508.32 \text{ Newton}$$

Verificando en la tabla se determina que el diámetro exterior debe ser de 32 milímetros y el diámetro del émbolo de 16 milímetros.

Figura 4.4.4.4. Cilindro neumático de doble efecto B.



Fuente: <http://www.atcmexico.com.mx>

PANDEO DEL CILINDRO

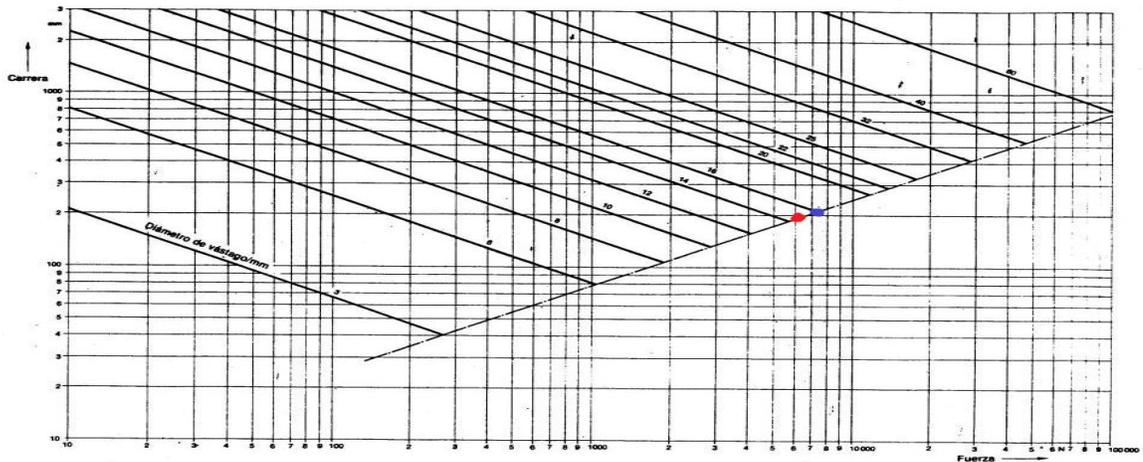
El pandeo en cilindros es un factor limitativo en la elección de cilindros cuyos vástagos están sometidos a compresión, ya que sólo bajo dicha sollicitación es cuando aparecen estos fenómenos. Estos se manifiestan por una flexión lateral del vástago que genera esfuerzos radiales sobre el buje y la camisa de los cilindros, acortando su vida útil y hasta produciendo una rotura.

Particularmente la verificación por pandeo debe realizarse en cilindros de gran carrera, que es donde el fenómeno puede adquirir magnitud, siendo el único factor constructivo que limita la carrera de los cilindros.

Por medio de un monograma se puede determinar que los cilindros, según el diámetro y carrera del vástago puedan soportar determinadas cargas sin que su vástago pueda llegar a sufrir algún pandeo. En el siguiente monograma se

representan los datos de diámetros de los vástagos, en rojo el cilindro A y en azul el cilindro B.²¹

Figura 4.4.4.5. Monograma de pandeo



Fuente: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica9.htm>

Observando el monograma de pandeo se puede observar que ambos cilindros aproximadamente pueden soportar cargas hasta de 7000 Newton, un valor muy por encima comparado con las cargas que realmente se van a manejar, en el caso del cilindro uno es de 334.86 Newton, mientras que el cilindro dos soportará aproximadamente 508.32 Newton.

Se llega a la conclusión de que se maneja un factor de seguridad muy alto y que los cilindros pueden trabajar sin el peligro de sufrir pandeos por la carga a soportar.

²¹ [17] Distritec S.A. Hidráulica y neumática. Novedad. ¿Qué es el pandeo en los cilindros? Buenos Aires, Argentina. Año 2014. Disponible en (<http://www.distritec.com.ar/detalleNovedad.php?titulo=%BFQu%E9%20es%20el%20pandeo%20en%20cilindros?>)

4.4.5 Válvulas reguladoras de caudal

Estas tienen la misión de estrangular el aire en las conducciones y se dividen en dos grupos, las unidireccionales y las bidireccionales. Las primeras estrangulan en un sentido, mientras que como lo indica su nombre en las segundas se reduce el caudal en ambas direcciones.

Los reguladores de caudal unidireccionales disponen de dos caminos en paralelo para el paso del aire. En uno de ellos hay un anti-retorno simple y en el otro está la regulación propiamente dicha. La acción de regulación solo se manifiesta en el sentido en el cual el anti-retorno impide el paso, puesto que en el otro sentido el aire levanta la clapeta y pasa libremente.

Cuando se intenta controlar la velocidad de movimiento de un cilindro neumático de doble efecto, los reguladores de caudal se instalan con el sentido de libre paso hacia el cilindro. Con esta instalación el aire llega pleno hacia el cilindro y los reguladores actúan sobre el aire que escapa de él. Cabe destacar que debido a la elasticidad del aire estas válvulas deben ir conectadas lo más cerca posible a los cilindros y así poder controlar mejor la velocidad de los cilindros.²²

Figura 4.4.5. Válvula reguladora de caudal unidireccional.



Fuente: Autores

²² [4] MILLÁN TEJA Salvador, Automatización neumática y electro-neumática. Capítulo 6. Pág. 137.

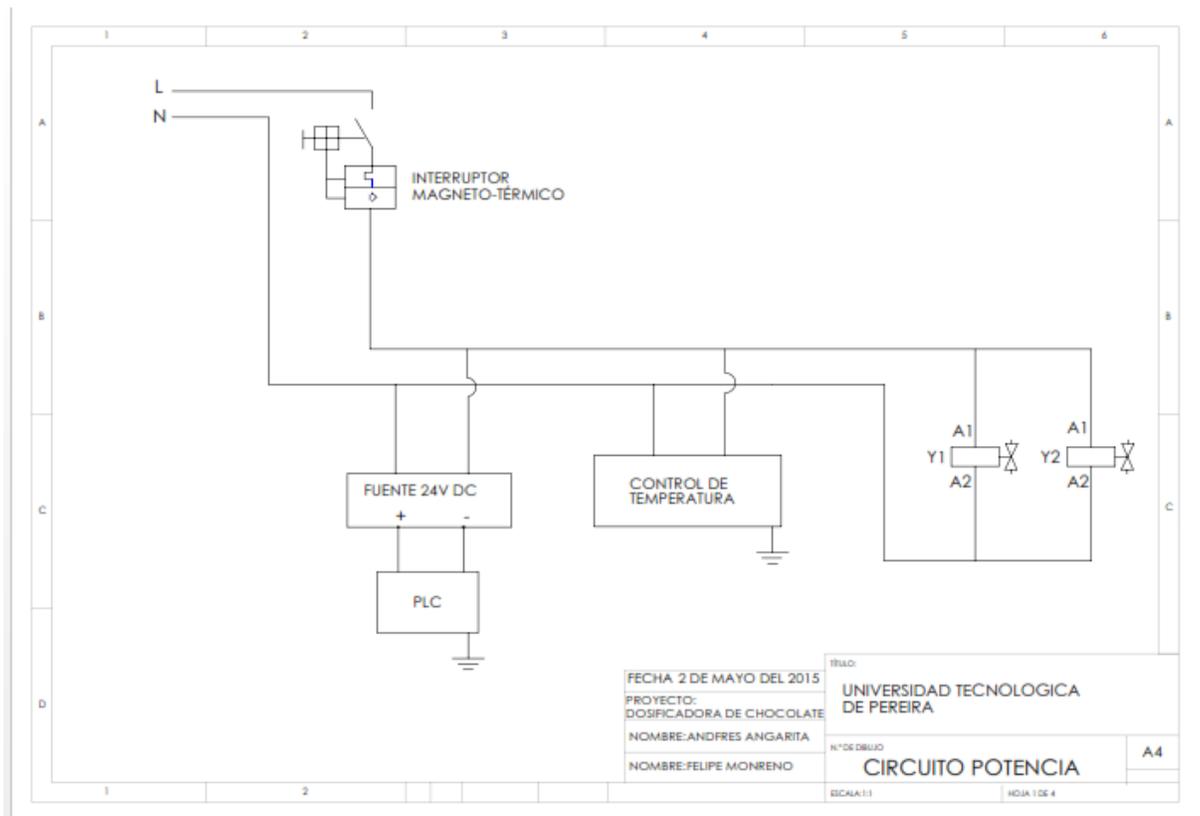
4.5. PLANOS ELÉCTRICOS

A continuación se encuentran los planos eléctricos de los diferentes circuitos que componen la parte eléctrica y electrónica de la máquina.

4.5.1. Circuito de potencia

El primer plano corresponde al circuito de potencia de la máquina, donde se muestra como son alimentados con 110 VAC los dispositivos como la fuente de voltaje de 24 VDC, el controlador de temperatura, las electroválvulas y la resistencia calefactora. Es importante destacar que se utilizará como protección contra corto-circuitos un interruptor magneto-térmico, para así cuidar de los elementos más vulnerables de la instalación.

Figura 4.5.1. Plano eléctrico del circuito de potencia de la máquina.



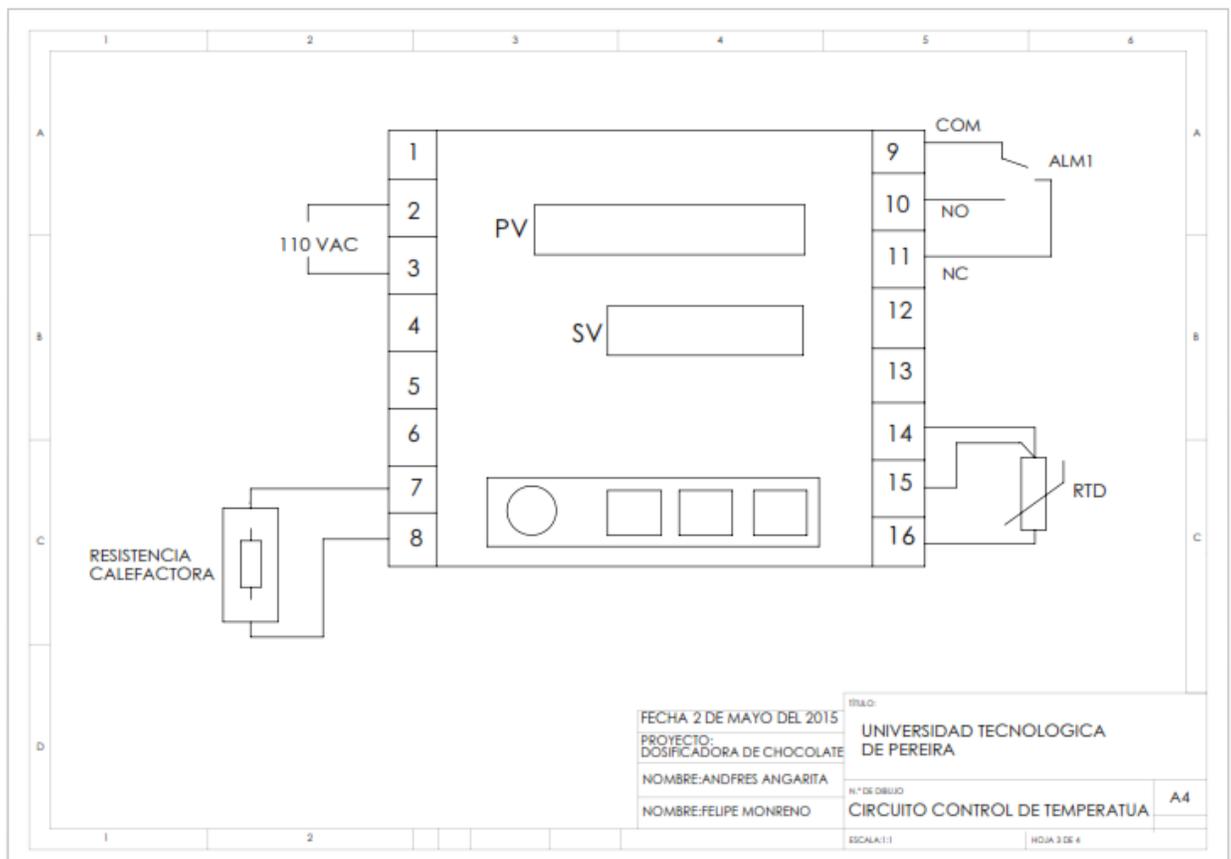
Fuente. Autores

4.5.2 Conexión entradas y salidas del PLC

En este plano se puede observar la conexión de los finales de carrera que serán utilizados en el circuito electro-neumático en las entradas que se van a usar en el PLC, así como la alimentación del dispositivo.

En la segunda parte del plano se realiza el circuito perteneciente a las salidas del dispositivo programable, donde están los relés que activarán las bobinas de las electroválvulas.

Figura 4.5.2. Conexiones de entradas y salidas del PLC.

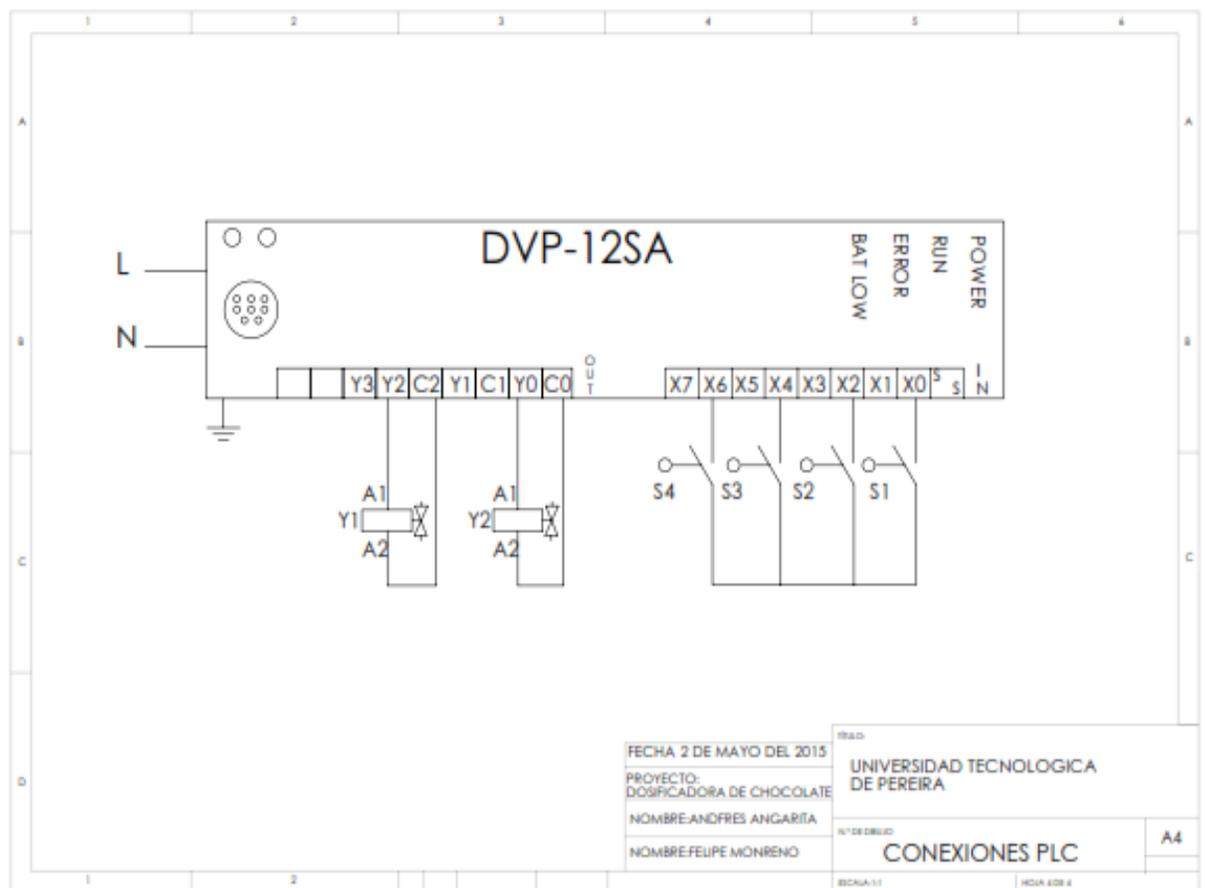


Fuente. Autores

4.5.3 Conexión de entradas y salidas del controlador de temperatura

En el siguiente dibujo se verifica la sencilla conexión de los periféricos de entrada y salida del controlador de temperatura. La termorresistencia PT-100 que es el sensor de temperatura implementado y el relé que es la interface entre la salida del controlador y la resistencia calefactora.

Figura 4.5.3. Conexiones de entrada y salida del controlador de temperatura.



Fuente. Autores

5. CONTROL DE TEMPERATURA

5.1 CONTROL DE TEMPERATURA

Para controlar la temperatura del chocolate fundido y así asegurar un producto final de excelente calidad, es necesario implementar un sistema de control de temperatura que permita regular la cantidad de calor que va a ser transferido desde la resistencia térmica hacia la materia prima.

Teniendo en cuenta que las exigencias del sistema de control no son mayores, se plantea la posibilidad de usar un control PID, puesto que este control es suficiente para resolver muchos problemas de control en la industria, especialmente cuando los procesos pueden ser descritos por dinámicas de primer y segundo orden, como es nuestro caso es de primer orden y los requerimientos de desempeño se limitan a un buen comportamiento del error en estado estacionario y una rápida respuesta a cambios en la señal de referencia, no existiría un mayor beneficio con el uso de un controlador más sofisticado.

5.2 CONTROL PID

Un controlador PID (Proporcional Integrativo Derivativo) es una idea simple de la retroalimentación, el cual tiene la capacidad de corregir errores de estado estacionario gracias a la acción integral y predecir errores futuros por la acción derivativa. Es el control más implementado a nivel industrial, pues cuando un sistema tiene una respuesta benigna y sus exigencias son relativamente modestas, este se convierte en una herramienta ideal a implementar.²³

²³ [6] ASTROM Karl J, Control PID avanzado, editorial Pearson S.A. 2009, total pág. 488. Página 1.

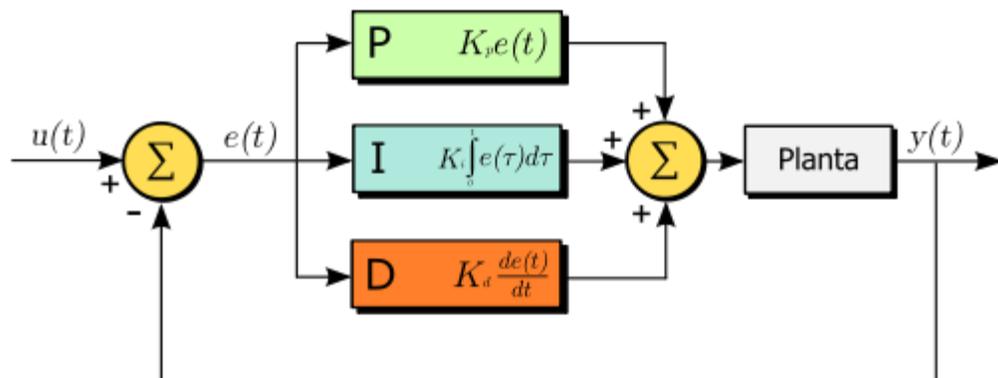
El controlador PID viene determinado por tres parámetros: el proporcional, el integral y el derivativo. Cada uno de estos parámetros influye en mayor medida sobre alguna característica de la salida (tiempo de establecimiento, sobre oscilación,...) pero también influye sobre las demás, por lo que por mucho que ajustemos no encontraríamos un PID que redujera el tiempo de establecimiento a 0, la sobre oscilación a 0, el error a 0,... sino que se trata más de ajustarlo a un término medio cumpliendo las especificaciones requeridas.

El algoritmo PID se puede describir como:

$$U(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) + K_d \frac{de}{dt} \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde U es la señal de control y e es el error de control. La señal de control es así una suma de tres términos: el término-P (que es proporcional al error), el término-I (que es proporcional a la integral del error), y el término-D (que es proporcional a la derivada del error). Los parámetros del controlador son la ganancia proporcional K , el tiempo integral T_i , y el tiempo derivativo T_d .²⁴

Figura 5.2. Diagrama de bloques de un control PID.



Fuente. http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo

²⁴ [6] ASTROM Karl J, Control PID avanzado, editorial Pearson S.A. 2009, total pág. 488. Página 1.

5.2.1 Acción proporcional

Produce una señal de control proporcional a la señal de error, es una acción muy simple, fácil de sintonizar y puede reducir pero no eliminar el error de estado estacionario.

$$U(t) = Kp e(t) \quad (Ec. 17)$$

5.2.2 Acción integral

Proporciona una corrección para compensar las perturbaciones y mantener la variable controlada en el punto de consigna.

Elimina errores de estado estacionario, más del 90% de sistemas de control usan PI, pueden desestabilizar el sistema si el tiempo de establecimiento se disminuye mucho.

La acción integral se basa en una sumatoria de todos los errores anteriores y así reducir el error de una manera más efectiva.

$$U(t) = Ki \int_0^t e(t) \quad (Ec. 18)$$

5.2.3 Acción derivativa

Esta acción intenta anticipar el efecto de la acción proporcional para estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier perturbación, es decir que se intentan predecir los errores futuros al conocer la derivada de la función.

$$U(t) = Kd \frac{de}{dt} \quad (Ec. 19)$$

5.3 Implementación del control PID

Existen varias posibilidades a implementar, entre ellas, un control PID utilizando esta función dentro del PLC, también diseñar un sistema de control que cumpla los requerimientos exactos del proceso o adquirir un controlador industrial que cumpla las especificaciones necesarias de control, a continuación se realiza un análisis de las diferentes alternativas.

Posibles desarrollos de sistemas de control PID en la industria.

- Control PID PLC DVP-12SA
- Diseño propio de sistema de control
- Controlador PID industrial

5.3.1 Control PID integrado en el PLC DELTA DVP-12SA

Aprovechando la posibilidad que nos ofrece la gama de PLC Delta de la serie DVP-SA, los cuales tienen integrado un control PID, que puede ser utilizado para diferentes usos en la industria. Se tiene una gran facilidad y es que se podrían programar los parámetros del controlador desde el software de programación del PLC y todo el sistema de procesamiento de la máquina quedaría dependiendo únicamente del PLC. Es necesario mencionar las desventajas que se encontrarían si se escoge esta opción, una de ellas es que para modificar cualquier parámetro del controlador PID es necesario conectar el PLC a un PC con el software de programación instalado para modificar desde allí los valores de los parámetros que se desean cambiar y volver a descargar el programa al dispositivo programable, para hacer este procedimiento la máquina debe para su funcionamiento, todo esto afectando finalmente la productividad de la máquina. Otro de los inconvenientes es el económico, puesto que este dispositivo DVP-12SA cuenta únicamente con entradas y salidas digitales, sería necesario adquirir un módulo de entradas y salidas analógicas, para que el sistema pudiese adquirir los valores del sensor de temperatura y enviar el valor de voltaje adecuado para aumentar la temperatura en la resistencia térmica.

5.3.2 Diseño de sistema de control PID

Diseñando de manera propia el sistema de control se podría obtener un controlador con un funcionamiento mucho más específico para el requerimiento del proceso, resultando así en una respuesta más deseada de la planta, sin embargo su construcción es compleja y necesita mucho tiempo, teniendo en cuenta que las necesidades del controlador que se desea implementar son básicas y el proceso de fusión del chocolate no maneja una precisión tan estricta, por ello no sería óptimo invertir el esfuerzo y tiempo necesario para diseñar este sistema contemplando las necesidades del proceso a realizar.

5.3.3 Controlador industrial PID

Es muy común encontrar en el mercado, controladores con diferentes características, cada uno diseñado para suplir la necesidad de algún proceso, beneficiándose así las empresas y los profesionales que utilizan comúnmente estos dispositivos, pues comparando con el tiempo necesario para diseñar y fabricarlos, es fácil determinar el gran ahorro en dinero y tiempo, sin embargo se debe ser muy riguroso a la hora de seleccionar el controlador indicado, puesto que debe estar acorde a la solución que se desea implementar. Es importante destacar que existen procesos muy complejos, donde intervienen muchos factores que afectan el normal funcionamiento del sistema, para estos casos se recomienda realizar un diseño del sistema de control que permita orientar su respuesta a las necesidades requeridas.

5.3.4. Selección del controlador a implementar

Después de analizar las ventajas y desventajas de cada uno de los tres posibles controladores a implementar, se llega a la conclusión de que específicamente para este desarrollo, el controlador industrial se convierte en la solución óptima debido a su facilidad de instalación y configuración, además que es mucho más económica en tiempo y recursos monetarios.

5.4 RESISTENCIA ELÉCTRICA CALENTADORA

Se seleccionó una resistencia calefactora tipo banda de 500 W, 110 VAC, 210 mm de longitud y 138 mm de ancho. Este tipo de resistencia está construida por una serie de materiales que pueden variar dependiendo de su fabricación, y cumplen la función de generar calor, concentrarlo y aislarlo para prevenir pérdidas.

Figura 5.4. Resistencia eléctrica calefactora 500 W, 110 VAC.



Fuente: Autores.

Características de la resistencia

- Ancho: 138 mm.
- Longitud: 210 mm.
- Espesor: 32 mm.
- Envoltura: Chapa aluminada, acero inoxidable.
- Aislamiento: micra.
- Voltaje: 110 VAC.
- Potencia: 500 W.
- Temperatura máxima: 400 °C.

Para las hallar las características idóneas de la resistencia eléctrica calefactora, se realizan un análisis con el fin de determinar la cantidad de potencia calórica que la planta térmica debe suministrar al sistema. Dicho estudio se realiza con base a la ecuación 3, en donde se verifica que la energía que debe ser entregada es igual a la energía almacenada en la tolva, más la energía del material de salida que es dosificado.²⁵

$$q_{ent} = m C T_t + \left(\frac{T_t - T_a}{R_{th}} \right) + \rho Q C (T_c - T_f) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde,

T_t= Temperatura chocolate en la tolva;

$$T_t = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

T_c= Temperatura chocolate caliente;

$$T_c = 40 \text{ } ^\circ\text{C} ;$$

T_f= Temperatura chocolate frio;

$$T_f = 20 \text{ } ^\circ\text{C} ;$$

m = masa de chocolate en la tolva;

$$m = 250 \text{ g} ;$$

R_{th} = resistencia térmica equivalente a las pérdidas de calor por conducción;

²⁵ [5] OGATA Katsuhiko, (2003) Ingeniería de control moderna edición 5, Editorial Pearson Educación, 965 págs. Página 138.

$$R_{th} = 1875 \text{ } ^\circ\text{C} * \text{s} ;$$

ρ = densidad del chocolate;

$$\rho = 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} ;$$

Q= caudal del chocolate de salida;

$$Q = 2.31 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} ;$$

c= calor especifico;

$$C = 1,59 \frac{\text{J}}{\text{g} * ^\circ\text{C}} ;$$

Ta= Temperatura ambiente;

$$T_a = 20 \text{ } ^\circ\text{C} ;$$

Reemplazando los datos de las variables en la ecuación 3.

$$q_{ent} = 250 \text{g} * 1,59 \frac{\text{J}}{\text{g} * ^\circ\text{C}} * 40^\circ\text{C} \left(\frac{40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}}{1875^\circ\text{C} * \text{s}} \right) + \dots$$

$$\dots + 1.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 2.31 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} * 1,59 \frac{\text{J}}{\text{g} * ^\circ\text{C}} (40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

Resultado final;

$$q_{ent} = 168.54 \text{ W} + 88.14 \text{ W} = 256.68 \text{ W}$$

Como se pudo determinar, la potencia total que debe entregar la resistencia eléctrica es de 256.68 vatios (W), un valor por debajo de la potencia con la cual fue diseñada la planta térmica que es de 500 vatios, por lo tanto se puede trabajar con cerca del 50% de su capacidad total, teniendo así un buen factor de seguridad y poder asegurar su constante funcionamiento.

5.5 SENSOR DE TEMPERATURA

Para seleccionar el sensor de temperatura más adecuado para el proceso que se desea desarrollar es muy importante tener en cuenta las siguientes consideraciones. El rango de temperatura que se desea sensar no supera los 50° centígrados por ello, si se escoge un sensor con un rango muy alto, puede que su resolución no sea lo suficientemente buena para que se pueda controlar adecuadamente la temperatura del chocolate.

Otro aspecto fundamental es que al haber la necesidad de sensar por contacto directo un alimento, su construcción física y materiales, no deben suponer un riesgo para las personas que van a ingerir posteriormente el alimento. Además de los mencionados también es importante tener en cuenta la exactitud, el tratamiento de la señal y el mantenimiento que deben tener estos equipos, para así poder tomar una decisión acertada sobre el sensor a utilizar.

5.5.1 Sensores de temperatura más utilizados en la industria

Aunque se debe mencionar en existen innumerables aplicaciones donde se utilizan diferentes sensores de temperatura, de estos también existen gran variedad. Cada tipo de sensor posee características propias que lo hace más o menos adecuado para cada aplicación, por este motivo se van a analizar las 3 clases de sensores de temperatura que frecuentemente se encuentran en la industria: las termocuplas, termo- resistencias y los termistores.

5.5.2 Termopares

Una termocupla es un transductor de temperatura, constituido por dos conductores (alambres), que desarrollan una f.e.m. que es función de la diferencia de temperatura entre sus uniones, una caliente ubicada en el lugar a medir temperatura, y una fría tomada como referencia.

Las termocuplas se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los aproximadamente 80 grados hasta aproximadamente los 1800 grados centígrados.

Para la medición de la temperatura, las termocuplas se basan en los siguientes efectos: Efecto Peltier, Dos conductores de diferente composición, a la misma temperatura tienen diferentes densidades de portadores de cargas libres, por lo tanto cuando estos conductores se ponen en contacto entre sí por medio de una unión rígida (soldadura), a través de esta unión hay una difusión de electrones desde el conductor de mayor densidad electrónica al de menor densidad. Cuando esto sucede el conductor que entrega electrones adquiere una polaridad positiva con respecto al otro.

Efecto Thompson Si en un conductor se mantienen sus extremos a diferentes temperaturas se produce un flujo de calor que tiende a establecer el equilibrio térmico, ese flujo de energía calórica es transportado por electrones, por lo tanto en los extremos del material aparece una diferencia de potencial que es proporcional a la diferencia de temperatura

La combinación de ambos efectos se resume en el llamado efecto Seebeck. Cuando los dos materiales A y B cuyos extremos se hallan a dos temperaturas diferentes T_1 y T_2 , se sueldan en uno de los extremo, aparece una f.e.m. de Seebeck, ese flujo de energía calórica, es transportado por electrones, por lo tanto, entre los extremos de los materiales aparece una diferencia de potencial, que es proporcional a la diferencia de temperatura.²⁶

²⁶ [7] UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Departamento de Electrotecnia, ELEMENTOS Y EQUIPOS ELÉCTRICOS, capítulo 8. Disponible en (http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%206%20Pco.pdf).

Figura 5.5.2. Termocupla tipo J.



Fuente. <http://www.preciolandia.com/ar/pirometro-auto-tuning-pid-con-termocupla-80rpd2-a.html>

5.5.3 Termo-resistencias (RTD)

La termorresistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura su resistencia varía, y la magnitud de la modificación puede relacionarse con la variación de la temperatura, el valor de la resistencia aumenta con el aumento de la temperatura. Las termorresistencias de uso más común se fabrican de alambre finos soportados por un material aislante y luego encapsulado. El elemento encapsulado luego se inserta luego en una vaina o tubo metálico cerrado en uno de sus extremos, que se llenara de un polvo aislante y se lo sella con cemento para impedir el paso de la humedad. Los materiales utilizados para realizar los arrollamientos de las termorresistencias son fundamentalmente, el platino, el níquel, níquel-hierro, el cobre y el tungsteno.

El platino encuentra aplicación dentro de un amplio rango de temperaturas y es el material más exacto y más estable. En efecto la relación, resistencia-temperatura

correspondiente a los alambres de platino es tan reproducible que la termorresistencia de platino se utiliza como estándar internacional de temperatura desde $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $630\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Las termorresistencias de platino pueden medir el rango más amplio de temperatura, son las más exactas y estables por no ser fácilmente contaminadas por el medio, en que se encuentran, y su relación resistencia – temperatura es más lineal que la de cualquier otro material con excepción del cobre.

La RTD más común en la industria es la PT-100, PT se refiere a que está construida en platino y 100, a que su resistencia eléctrica es de 100 ohmios a 0° centígrados.²⁷

Figura 5.5.3. Termorresistencia (RTD) PT-100.



Fuente. http://www.promelsa.com.pe/productos_list.asp?id_linea=008&id_sublinea=5&id_familia=05&saldos=&pm_list=L

²⁷ [7] UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Departamento de Electrotecnia, ELEMENTOS Y EQUIPOS ELÉCTRICOS, capítulo 8. Disponible en (http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%206%20Pco.pdf).

5.5.4 Termistores

Compuestos de una mezcla sinterizada de óxidos metálicos, el termistor esencialmente un semiconductor que se comporta como un resistor térmico, con un coeficiente de temperatura negativo de un valor muy elevado.

Los termistores también pueden encontrarse en el mercado con la denominación de NTC (Coeficiente Negativo de Temperatura), habiendo casos especiales de coeficiente positivo de temperatura, cuando su resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura y se los denomina PTC (Coeficiente Positivo de Temperatura).

En algunos casos, la resistencia del termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta un 6 % por cada 1 ° C. de aumento de temperatura. Esta elevada sensibilidad a las variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose muy ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150 a 450 ° C.

El termistor se fabrica a partir de una mezcla de óxidos metálicos sinterizados, los metales utilizados son el níquel, cobalto, manganeso, hierro, cobre, magnesio y titanio.²⁸

²⁸ [7] UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Departamento de Electrotecnia, ELEMENTOS Y EQUIPOS ELÉCTRICOS, capítulo 8. Disponible en (http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%206%20Pco.pdf).

Figura 5.5.4. Termistor NTC 100E.



Fuente. <https://reielectro.wordpress.com/2012/11/09/el-termistor/termistor-ntc-100e-3/>

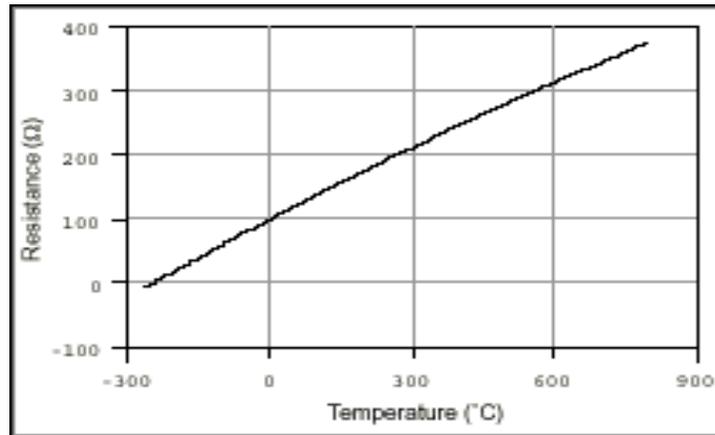
En comparación con las termocuplas y las termoresistencia, el termistor no ofrece ventajas de exactitud de salida y estabilidad²⁹, además su resistencia disminuye exponencialmente a medida que crece la temperatura, por estos motivos se descarta el termistor.

Y después de hacer un análisis entre las características de las termocuplas y las termoresistencias, se decide escoger una RTD de platino (PT100), debido a que presentan mayor exactitud que los termopares en condiciones de baja temperatura (-100°C a 200°C), por este motivo son más utilizadas en la industria alimenticia que la primera. Además, como se ha mencionado la linealidad de la PT-100 es excelente y está fabricada en un material que puede entrar en contacto directo con el chocolate fundido.³⁰

²⁹ [7] UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Departamento de Electrotecnia, ELEMENTOS Y EQUIPOS ELÉCTRICOS, capítulo 8. Disponible en (http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%206%20Pco.pdf).

³⁰ [10] SOLUCIONES, DISEÑOS y PROVISIONES IDOBN S. A, ¿Conoce usted la diferencia entre una "Termocupla" y un "RTD"? (Junio, 2010), disponible en http://solucionesdobin.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=40

Figura 5.5.5. Curva de operación de una PT-100.

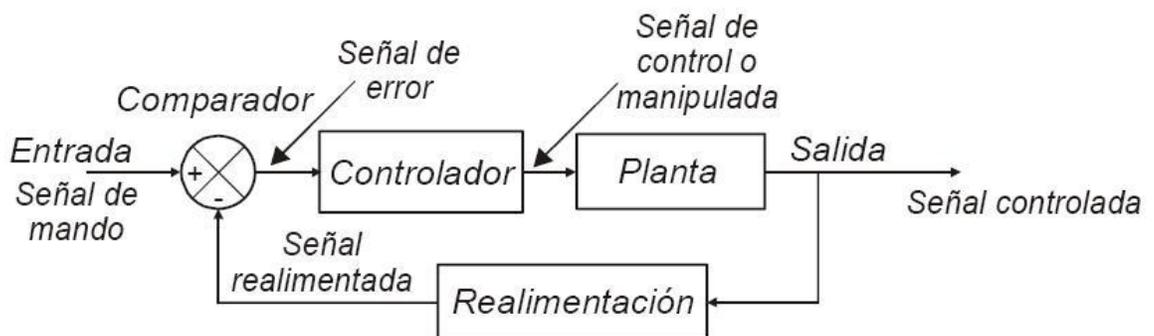


Fuente. <http://www.unet.edu.ve/~ielectro/Sensores%20de%20Temperatura.htm>

5.6. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE TEMPERATURA

La estructura del sistema es básica de un cualquier sistema de control, donde un controlador industrial envía una señal de control a la planta térmica y la respuesta de esta es medida por un sensor de temperatura, el cual retroalimenta esta señal a la entrada del controlador para intentar reducir el error.

Figura 5.6. Estructura del sistema de control en lazo cerrado.



Fuente. http://mariajosehernandezrivera.blogspot.com/2013_02_01_archive.html

Se desea controlar un sistema térmico, el cual consta de una resistencia eléctrica que posee una respuesta relativamente lenta y que se encarga de transferir energía calórica al chocolate que se encuentra dentro de la tolva, el cual posteriormente va a ser dosificado.

5.6.1. Controlador industrial

El controlador de temperatura EBCHQ (58008 / XMTG-818) que se utiliza para mantener la resistencia a la temperatura adecuada cuenta con las siguientes características:

- Display 7 segmentos: 4 Dígitos
- Tipos de entrada: Termocuplas: J-K-S-E RTD: Pt-100, CU50
- Modos de Control: ON-OFF, FUZZY PID
- Salida de Control: Relé
- Funciones: Auto-sintonizado, Manual / Automático.
- Alimentación eléctrica: 85-242Vac
- Tamaño: H48 x W48mm
- Origen: China

Figura 5.6.2. Controlador de temperatura EBCHQ (58008 / XMTG-818).



Fuente. <http://www.electricasbogota.com/detalles/temperatura-&-procesos/5890-58006>

Se puede observar que este controlador cuenta con todas las características necesarias del desarrollo, puesto que cuenta con control PID, su alimentación eléctrica es acorde con la alimentación de los otros elementos de la máquina (110 VAC) y permite conectar como sensor de temperatura una PT-100, la cual fue escogida según los parámetros descritos anteriormente en este capítulo.

5.6.2. Identificación de la planta

Para realizar la configuración del controlador PID y de sus constantes, es necesario realizar una identificación de la planta que se va a implementar para así predecir su funcionamiento. Existen dos métodos para realizar la identificación del sistema, el primero es el método analítico, en el cual se realiza un modelado matemático haciendo uso de las leyes físicas que rigen el proceso, cabe destacar que es necesario poseer un gran conocimiento en el proceso físico y buenas habilidades matemáticas. El segundo método de identificación es totalmente experimental, es un método más directo y sencillo, donde basta con aplicar señales especiales como pulsos, escalones, rampas o sinusoidales a la planta y analizar su desempeño en el tiempo.³¹

Teniendo en cuenta las características de funcionamiento del sistema, donde no se requiere de gran exactitud y las necesidades del control no son tan estrictas, se decide utilizar el método experimental de identificación de la planta y aplicar una función escalón, con la cual se obtienen modelos sencillos pero suficientemente exactos.

La respuesta de un proceso tecnológico a la señal puede aproximarse con un modelo de primer orden con o sin retardo, este modelo puede ser utilizado en procesos simples o en algunos complejos donde no se requiera tanta exactitud, por ende este será el modelo a utilizar para la planta térmica que se requiere implementar, puesto que los sistemas térmicos tienden a ofrecer una respuesta monótona creciente sin oscilaciones.³²

³¹ [5] OGATA Katsuhiko, (2003) Ingeniería de control moderna edición 5, Editorial Pearson Educación, 965 págs. Página 570.

³² [9] BETANCOR, C. CERESO, J. VEGA, A. Diseño de un sistema de control de temperatura. Las palmas, España. Pág.9. Trabajo de investigación (Departamento

La expresión matemática para este tipo de modelo es:

$$G(s) = \frac{K \cdot e^{-t_d \cdot s}}{\tau \cdot s + 1} \text{ (Ec. 20)}$$

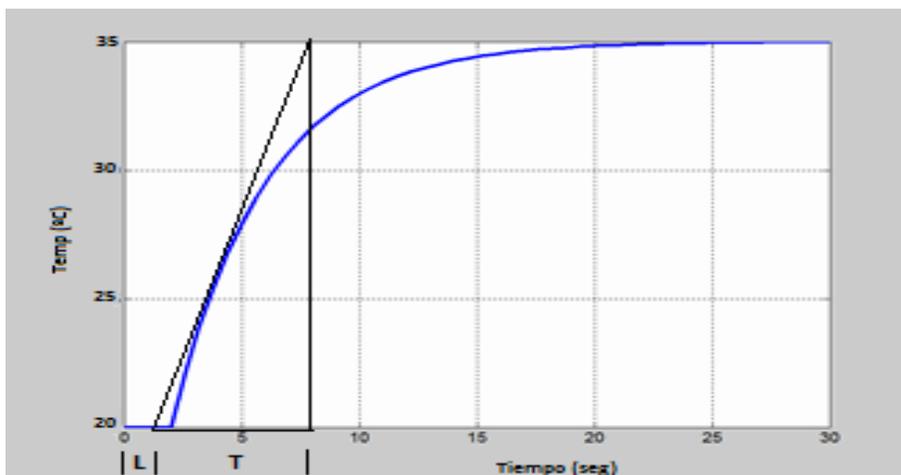
Donde:

K es la ganancia del proceso, **t** el tiempo de retardo y **τ** la constante de tiempo.

Dichos parámetros se obtienen de la respuesta obtenida en el proceso de identificación ante la entrada en escalón.

Se procede a aplicar un escalón de amplitud 24, a la resistencia y evaluar el desempeño de su temperatura en el tiempo.

Figura 5.6.2 Gráfica de la respuesta de la planta al ser excitada por una señal de escalón.



Fuente. Autores

de Ingeniería Electrónica y Automática), Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada (IUMA), Universidad de Las Palmas.

Después de trazar una línea tangente en la curva, se puede observar fácilmente los valores necesarios para encontrar las constantes de los parámetros del control PID siguiendo las indicaciones de la sintonización por el método Ziegler-Nichols.³³

$$L = 1.5; \tau = 7.8.$$

Una vez conocidos los valores, se procede a despejar las constantes proporcional, integral y derivativo de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 6. Constantes de un control PID sintonizado por el método Ziegler-Nichols.

Tipo de Controlador	K_c	T_i	T_d
P	$\frac{\tau}{L}$	∞	0
PI	$0,9\frac{\tau}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{\tau}{L}$	$2L$	$0,5L$

Fuente. <http://prof.usb.ve/montbrun/sintonizacion%20controladores%20sep07.pdf>

Haciendo el respectivo despeje de las variables con los valores que obtuvimos de la gráfica de respuesta de la planta a la señal escalón, se puede determinar que las constantes de los parámetros del control PID que debemos programar directamente en el controlador industrial a implementar, son los siguientes:

Constante de control proporcional: **$K_p = 6,24$.**

Constante de control integral: **$T_i = 3$.**

Constante de control derivativa: **$T_d = 0,75$.**

³³ Ziegler y Nichols propusieron reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , basándose en las características de respuesta transitoria de una planta dada. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o sintonía de controladores PID la pueden realizar los ingenieros mediante experimentos sobre la planta. [5] OGATA Katsuhiko, (2003) Ingeniería de control moderna edición 5, Editorial Pearson Educación, 965 págs. Página 569.

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una máquina dosificadora de chocolate completamente funcional, que cumple los requisitos de operación para dosificar el chocolate previamente fundido, fabricada con materiales idóneos para el tratamiento de alimentos.

Para realizar cualquier proyecto o desarrollo independientemente del proceso que se desea mejorar, es indispensable que se realice un estudio de las propiedades de los materiales con los cuales se van a trabajar y realizar un análisis físico-químico de las diferentes variables del proceso que permita determinar el funcionamiento que debe tener el desarrollo que se requiere implementar.

Después de desarrollado el proyecto se puede llegar a la conclusión de que el proceso de fabricación de chocolate dulce es complejo, donde la temperatura no puede exceder ciertos límites que van desde los 45° C hasta los 50° C, además debe permanecer constante si no se desea que el chocolate fundido se dañe. Por esta razón es indispensable que se controle la temperatura, como sucede en el proyecto, un control PID se adapta perfectamente a las necesidades del proceso y con este control se puede asegurar un producto de excelente calidad.

Haciendo un análisis del beneficio que puede traer estos desarrollos para las diferentes microempresas, es claramente superior la productividad con esta máquina, pues ofrece una producción cercana a los 21,6 Kilogramos por cada hora (en operación media), mientras que el proceso artesanal puede producir cerca de 5 Kilogramos por hora, influyendo esto directamente en las ganancias de la empresa.

Cabe destacar que el proceso que ofrece la máquina protege a los operarios de lesiones musculares y otros problemas de salud asociados con los movimientos repetitivos que debían hacer antes de la máquina. Además de lo anterior, es evidente la pérdida de materia prima que se presentaba en el proceso manual al

momento de realizar la dosificación o llenado de los moldes, incurriendo esto en costos adicionales que la empresa debía asumir.

Se demuestra una vez más la capacidad de la Mecatrónica, pues en su desarrollo interdisciplinar permite que se integren las diferentes ramas de la ingeniería para así poder brindar una solución más óptima que si se pensara en un desarrollo de una sola rama de la ingeniería. Al poder visualizar la máquina desde diferentes aspectos como el mecánico, eléctrico y electrónico se nos posibilita ofrecer una solución que cumple a cabalidad con los requisitos de las microempresas que quieren surgir en los mercados que desde hace muchos años se ha monopolizado por grandes industrias.

En la industria alimenticia es muy importante ceñirse a las normas de higiene y salubridad que rigen estas empresas, para ello es muy conveniente utilizar los materiales de construcción adecuado, en nuestro caso se utilizó en gran medida el acero inoxidable por sus excelentes propiedades antioxidantes y de conservación de las características de los alimentos, así como el aluminio, el cual también fue usado en la máquina en algunas piezas que no iban a tener contacto directo con la materia prima pero que se acercaban a la misma.

En cualquier instalación eléctrica se hace fundamental utilizar las protecciones adecuadas para evitar daños en los diferentes dispositivos o incluso de algún accidente, en el desarrollo realizado se implementó un interruptor magneto-térmico el cual protege la instalación eléctrica en caso de un corto-circuito, además se utilizaron 2 relevos electro-magnéticos para aislar la fase de potencia del circuito de las salidas del PLC, protegiendo así al dispositivo programable de cualquier fallo o sobrecargas de las electroválvulas.

RECOMENDACIONES

Los controladores lógicos programables son equipos muy potentes en la industria y utilizados para diferentes aplicaciones pues se destacan por su capacidad de procesamiento, su robustez y su facilidad de programación, pero es necesario analizar si se pueden reemplazar por microcontroladores, los cuales son mucho más económicos y utilizando las interfaces correctas pueden utilizarse para un sinnúmero de aplicaciones.

Para bajar los costos de fabricación de la máquina, se pueden reemplazar piezas específicas de acero inoxidable por aluminio, debido a que este material es más económico, maleable, fácil de mecanizar y da un excelente acabado superficial.

Para el sistema neumático se sugiere cambiar los sensores finales de carrera por sensores tipo Reed, porque son más fáciles de posicionar en el armazón del cilindro permitiendo censar la posición del pistón en una determinada distancia.

Para realizar adecuadamente el proceso de dosificación del chocolate es importante tener un sistema de abastecimiento donde se tenga la mezcla del chocolate a una temperatura cercana al punto de fusión, para posteriormente ser llevado a la tolva donde esta se encuentre con una temperatura que oscile entre los 35°C y 40 °C, y finalmente realizar el proceso de dosificación de chocolate.

En el sistema de llenado de los moldes, se podría implementar una banda transportadora para retirar los moldes de manera más rápida, reduciendo así tiempos de producción, logrando optimizar el proceso hasta llegar a un proceso totalmente automatizado.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AVENDAÑO Luis Enrique, Fundamentos de instrumentación, Universidad Tecnológica de Pereira, consulta en marzo de 2014, disponible en (<http://www.utp.edu.co/~mauriciorami/libro2.pdf>.)
- [2] BAU Frédéric, Chocolate Fusión, Ed. Digital, Editorial Montagud, Año 2006, Plaza de edición Barcelona, 306 págs.
- [3] BAU Frédéric, Enciclopedia Del Chocolate, Editorial Blume, Año 2013 Plaza de edición Barcelona, 416 págs.
- [4] MILLÁN TEJA Salvador, Automatización neumática y electro-neumática. Capítulo 6. Pág. 137
- [5] OGATA Katsuhiko, (2003) Ingeniería de control moderna edición 5, Editorial Pearson Educación, 965 págs.
- [6] ASTROM Karl J, Control PID avanzado, editorial Pearson S.A. 2009, pág. 488.
- [7] UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Departamento de Electrotecnia, ELEMENTOS Y EQUIPOS ELÉCTRICOS, capítulo 8. Disponible en (http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap%206%20Pco.pdf).
- [8] CENTRO INTEGRADO DE FORMACIÓN PERSONAL, Plataforma formativa digital, Contenidos online, Madrid, 2012. Disponible en (<http://www.cifp-mantenimiento.es/e-learning/contenidos/4/sobreintensidades.pdf>).
- [9] BETANCOR, C. CERESO, J. VEGA, A. Diseño de un sistema de control de temperatura. Las palmas, España. Pág.9. Trabajo de investigación (Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática), Instituto Universitario de Microelectrónica Aplicada (IUMA), Universidad de Las Palmas.
- [10] SOLUCIONES, DISEÑOS y PROVISIONES IDOBN S. A, ¿Conoce usted la diferencia entre una "Termocupla" y un "RTD"? (Junio, 2010), disponible en (http://solucionesdobin.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=40)
- [11] PARRA, Jhon Hammer. RAMOS, Ruth Peña. Diseño de un prototipo de una máquina para fundir chocolate. Pereira. Pág. 71. Trabajo de grado (Tecnología Mecánica), Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnologías.
- [12] CREUS SOLÉ, Antonio. Neumática e hidráulica. 2da edición. Año 2007. Editorial Marcombo S.A. Pág.436

- [13] Centro para la innovación y desarrollo de la educación a distancia. Área de física y química, estados de la materia, Pág. 81. Año 2010. Disponible en (<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/3esofisicaquimica/impresos/quincena3.pdf>)
- [14] Codols Technology. Tecnología. Control de procesos, precisión y versatilidad, dosificación volumétrica y gravimétrica. Barcelona, España. Año 2011. Disponible en (<http://www.codols.com/tecnologias/dosificacion-volumetrica-y-gravimetrica>)
- [15] Coperion K-Tron. Guía de selección de dosificadores. Año 2014. New Jersey, USA. Disponible en (<http://www.ktron.es/process-equipment/feeders/feeder-selection.cfm>)
- [16] Chocolatier Electronique. Consejos útiles. Año 1999. Disponible en (<http://www.chocolatier-electro.com/spanish/tips.htm>)
- [17] Distritec S.A. Hidráulica y neumática. Novedad. ¿Qué es el pandeo en los cilindros? Buenos Aires, Argentina. Año 2014. Disponible en (<http://www.distritec.com.ar/detalleNovedad.php?titulo=%BFQu%E9%20es%20el%20pandeo%20en%20cilindros?>)
- [18] Instituto nacional de tecnologías educativas y de formación del profesorado. Tecnología. Apuntes. El relé. Madrid, España. Disponible en (<http://platea.pntic.mec.es/~pcastela/tecno/documentos/apuntes/rele.pdf>)
- [19] ARIAN control t automatización. Cuando y en que aplicaciones usar una Termocupla J, Termocupla K o Pt100. {en línea}. Fecha {Diciembre 2014} Disponible en:(<http://www.arian.cl/downloads/nt-001.pdf>)
- [20] MONTBRUN DI FILIPPO, Jenny. Universidad Simón Bolívar, Departamento de procesos y sistemas. Caracas, Venezuela. Sintonización de controladores. Fecha {Enero 2015} Disponible en: <http://prof.usb.ve/montbrun/sintonizacion%20controladores%20sep07.pdf>
- [21] Investigación aplicada sexto. Historia del chocolate. Marzo de 2010. Disponible en (http://investigacionbellasartes.blogspot.com/2010/03/blog-post_22.html). Tomado de-Revista Credencial Historia (Bogotá - Colombia). Octubre 2000. No.130.
- [22] WESCO Acero Inoxidable. Información técnica del acero inoxidable 304. Bogotá, Colombia. {En línea} Disponible en (<http://www.wesco.com.co/default.asp?ild=KMGJI>).

- [23] SUMITEC Suministros técnicos S.L. Artículos. Aleaciones de aluminio. {En línea} Disponible en
(<http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AA%206061.pdf>).
- [24] INGEMECÁNICA Ingeniería, consultoría y formación. Tutorial No. 112. Propiedades físico-químicas del cobre. {En línea}. Disponible en
(<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn112.html>).
- [25] BLAS, Teresa Martín Blas. SERRANO FERNÁNDEZ, Ana. Universidad Politécnica de Madrid (UPM) - España. Primer principio de la termodinámica, calor. {En línea} Disponible en
(<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo1p/calor.html#>)
- [26] ANGARITA, Andrés Felipe. Adaptación y simulación para una dosificadora de chocolate. Pereira. Pág. 58. Trabajo de grado (Tecnología Mecatrónica), Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnologías.
- [27] OLIVERAS SEVILLA, Juan Manuel. La elaboración del chocolate, una técnica dulce y ecológica. En: Técnica industrial, No. 268 / Marzo –Abril 2007. Página 50. Disponible en <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/28/37/a37.pdf>
- [28] HOLMAN J. P., Transferencia de calor. Décima reimpresión, México. Año 1999. Compañía Editorial Continental S.A. Páginas 23, 24, 25.
- [29] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Departamento de electrónica automática e informática industrial. Apuntes de regulación automática. Modelado matemáticos de los sistemas dinámicos. Pág. 97. Disponible en
(http://www.elai.upm.es/webantigua/spain/Asignaturas/Servos/Apuntes/4_Modelado.pdf)

ANEXOS

(Fotografías obtenidas de la máquina)

Anexo 1. Fotografía del circuito de control.



Fuente. Autores.

Anexo 2. Fotografía de la tolva.



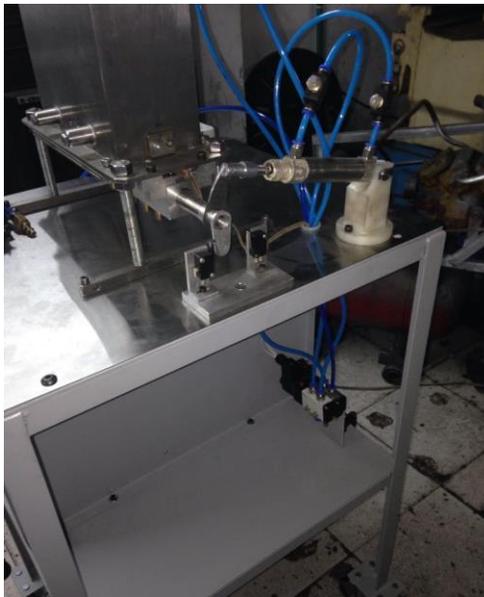
Fuente. Autores.

Anexo 3. Fotografía parte frontal máquina dosificadora de chocolate.



Fuente. Autores.

Anexo 4. Fotografía parte posterior de la máquina dosificadora de chocolate.



Fuente. Autores.

Anexo 5. Fotografía del cilindro de empuje.



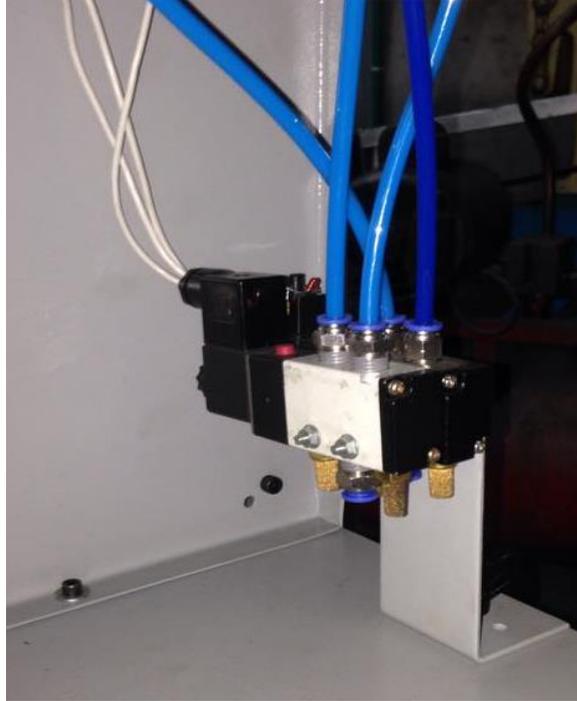
Fuente. Autores.

Anexo 6. Fotografía tablero de control.



Fuente. Autores.

Anexo 7. Fotografía electro-válvulas.



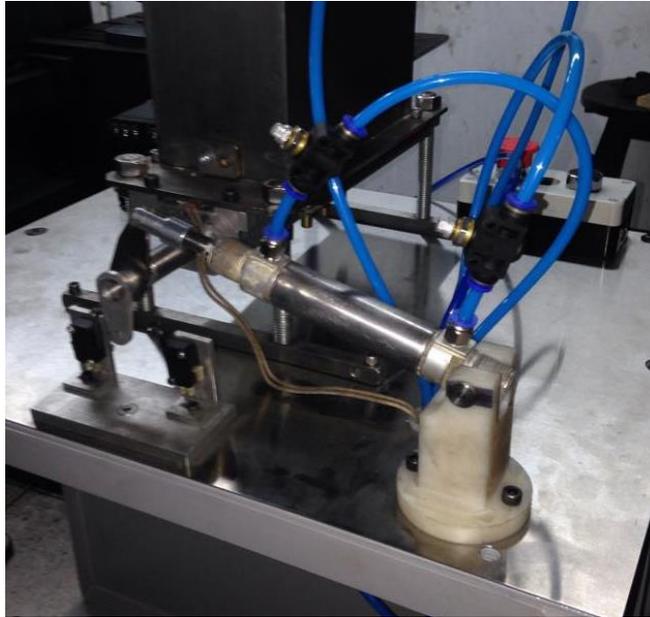
Fuente. Autores.

Anexo 8. Fotografía finales de carrera.



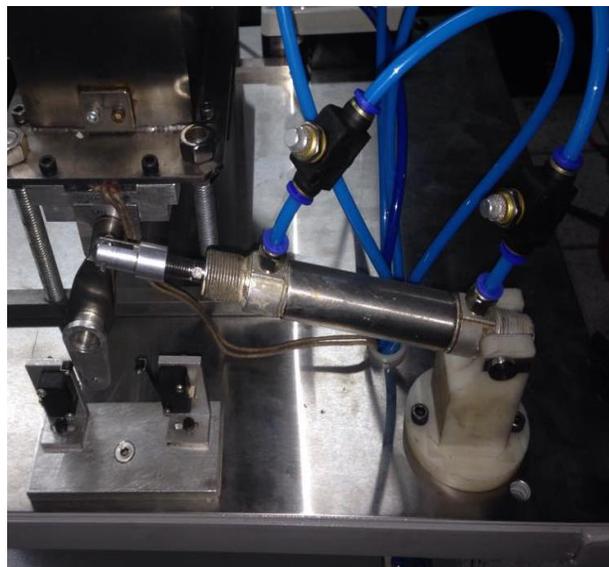
Fuente. Autores.

Anexo 9. Fotografía cilindro de apertura.



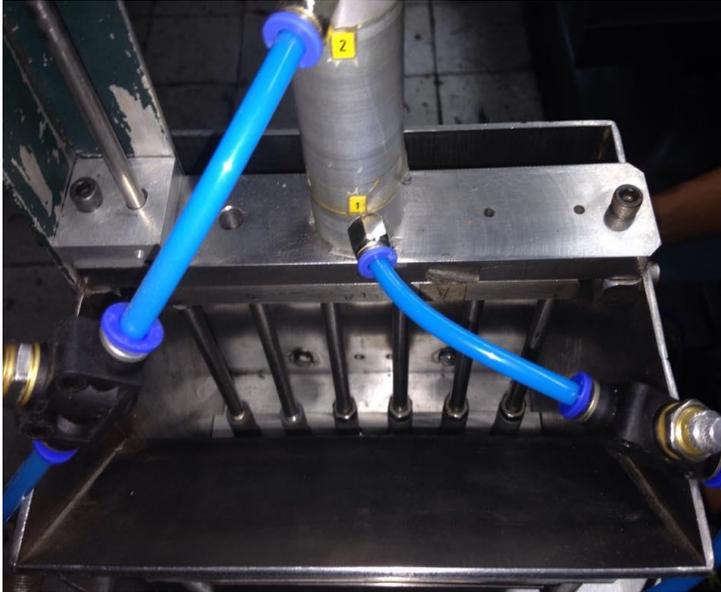
Fuente. Autores.

Anexo 10. Fotografía cilindro de apertura.



Fuente. Autores.

Anexo 11. Fotografía mecanismo de empuje.



Fuente. Autores.

Anexo 12. Fotografía fabricación de la estructura.



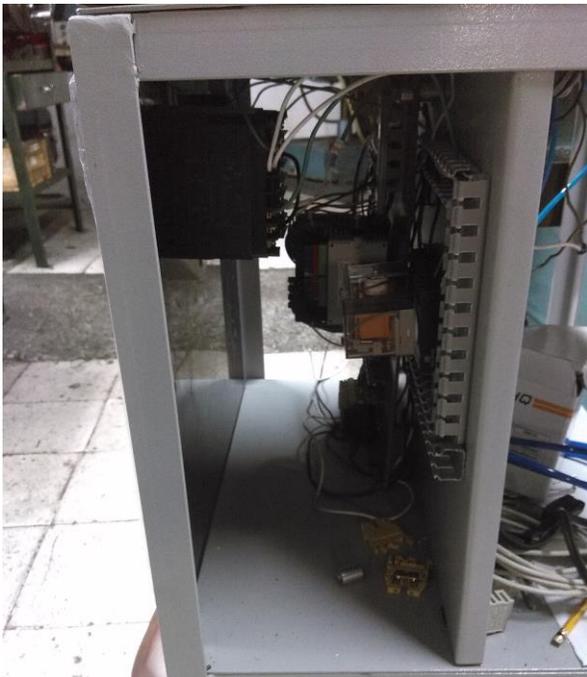
Fuente. Autores.

Anexo 13. Fotografía adecuando conexiones de los cilindros.



Fuente. Autores.

Anexo 14. Fotografía de las conexiones eléctricas de la máquina.



Fuente. Autores.

Anexo 15. Fotografía frontal de la máquina terminada.



Fuente. Autores.