

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

SIMULACIÓN DE UN DOSIFICADOR DE CHOCOLATE AUTOMÁTICO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
ELECTROMECAÁNICA**

BRANDON ALEXIS QUILUMBA DIAZ

brandon.quilumba@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. ABRAHAM ISMAEL LOJA ROMERO MSc.

abraham.loja@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA MSc.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2020

DECLARACIÓN.

Yo Brandon Alexis Quilumba Diaz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación -COESC-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaré toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



Brandon Alexis Quilumba Diaz

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr Brandon Alexis Quilumba Diaz, bajo nuestra supervisión.



Ing. Loja Romero Abraham Ismael

DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Romo Herrera Carlos Orlando

CODIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto a mi familia a mis padres por enseñarme los valores de honestidad, responsabilidad y humildad, valores que fortalecen mi profesionalismo y que me han llevado por diversos caminos laborales, y sobre todo a mi esposa y a mi hijo que han sido el motor de lucha para continuar con mis estudios y mi trabajo, me has apoyado en todo cariño y solo puedo decirte gracias.

Brandon Alexis Quilumba Diaz.

AGRADECIMINETO

Agradezco a mis padres por sus enseñanzas y por los valores inculcados hacia mi persona, gracias por todo su esfuerzo y malas noches al tratar de enseñarme algún problema de matemáticas, me han ayudado a formar mi carácter y mi personalidad.

A mis hermanos Brenda, Erick, Erika, gracias por brindarme su amistad y compañerismo, sobre todo a ti Brenda has sido mi hombro de apoyo para seguir adelante, los quiero mucho.

A mis compañeros por compartir y colaborar en el transcurso de mi carrera.

A los docentes por impartir sus conocimientos y experiencias, gracias por el tiempo que se tomaron para explicar otra vez los conceptos que no quedaban claros.

Al personal que conforma la Escuela Politécnica Nacional, administrativo y de servicios, todos ustedes en sus diferentes labores hacen de esta institución un mejor lugar para el desenvolvimiento de nosotros los estudiantes

Al Ing. Abraham Loja, al Ing. Alan Cuenca y al Ing. Freddy Llulluna, por capacitarme en el transcurso de mi carrera para realizar este tipo de proyectos, ya sea en el diseño, la simulación y la implementación de maquinaria, todos los conocimientos que me han compartido han dado frutos en el área laboral, ya sea automatizando procesos, o diseñando maquinaria, gracias por impartir sus conocimientos.

Brandon Alexis Quilumba Diaz.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Planteamiento del problema.....	1
1.2	Justificación	1
1.3	Objetivos.....	2
1.4	Fundamentos Teóricos	3
2.	METODOLOGÍA.....	13
2.1	Descripción de la metodología usada.....	13
2.2	Técnicas e instrumentos empleados en la ejecución del proyecto	14
3.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	16
3.1	Estudio del proceso y diseños de dosificación de chocolate.	16
3.2	Diseño mecánico del dosificador de chocolate.....	17
3.3	Diseño Mecánico.....	19
3.4	Diseño eléctrico del dosificador de chocolate.....	39
3.5	Selección de dispositivos neumáticos	46
3.6	Secuencia de funcionamiento de los actuadores neumáticos.....	56
3.7	Dispositivos electrónicos.	57
3.1	Algoritmo de control para el proceso de dosificación.....	63
3.2	Manual de construcción de la máquina	76
4.	Conclusiones y recomendaciones.	76
4.1	Conclusiones.	76

4.2	Recomendaciones	78
5.	Referencias	80
6.	ANEXOS	83
	Anexo A.....	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo B.....	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo C	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo D	¡Error! Marcador no definido.
	Anexo E.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1:	DOSIFICADORA VOLUMÉTRICA DE TORNILLO	5
FIGURA 1.2:	DOSIFICADORA VOLUMÉTRICA DE LÍQUIDOS	5
FIGURA 1.3:	DOSIFICADORA GRAVIMÉTRICA O PÉRDIDA DE PESO DIFERENCIAL, [4].....	6
FIGURA 1.4:	PARTES DEL CILINDRO DE SIMPLE EFECTO	9
FIGURA 1.5:	PARTES DEL CILINDRO DE DOBLE EFECTO	10
FIGURA 1.6:	CILINDRO DE DOBLE VÁSTAGO.....	11
FIGURA 1.7:	CILINDRO REDONDO CON IMÁN INCORPORADO.....	11
FIGURA 2.1:	ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA USADA EN EL PROYECTO.....	14
FIGURA 3.1:	TUBERÍA DE ACERO INOXIDABLE AISI 304/304L.....	17
FIGURA 3.2:	BLOQUES Y BARRAS DE ALUMINIO 606.....	18
FIGURA 3.3:	EJES DE PLÁSTICO INDUSTRIAL GRILÓN	19
FIGURA 3.4:	DISEÑO MECÁNICO DEL DOSIFICADOR DE CHOCOLATE.	19
FIGURA 3.5:	DISEÑO Y DIMENSIONES DE LA TOLVA DOSIFICADORA.	22
FIGURA 3.6:	DIMENSIONES Y DISEÑO DE LA TAPA DE LA TOLVA.	22
FIGURA 3.7:	DIMENSIONES Y DISEÑO DE LAS BOQUILLAS DOSIFICADORAS.	23
FIGURA 3.8:	DIMENSIONES Y DISEÑO DE LOS CILINDROS DOSIFICADORES.....	24
FIGURA 3.9 :	DISEÑO Y DIMENSIONES DE LOS BOCINES DESLIZANTES.	24

FIGURA 3.10: DISEÑO Y DIMENSIONES DE LOS BOCINES DE RETENCIÓN.....	25
FIGURA 3.11: DISEÑO Y DIMENSIONES DEL EJE DOSIFICADOR.....	26
FIGURA 3.12: DIMENSIONES EN CHAVETERO DE LA BIELA.	26
FIGURA 3.13: DIMENSIONES EN EL CHAVETERO DEL EJE.....	27
FIGURA 3.14: DISEÑO Y DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DOSIFICADORA.....	28
FIGURA 3.15: DISEÑO Y DIMENSIONES DE LA GUÍA DOSIFICADORA Y SU PISTÓN.	32
FIGURA 3.16: PLACAS BASE SUPERIOR E INFERIOR DE ALUMINIO.....	33
FIGURA 3.17: DISEÑO Y DIMENSIONES DE LAS TAPAS LATERALES DE LA ESTRUCTURA DOSIFICADORA.....	34
FIGURA 3.18: RETENEDORES O SELLOS NEUMÁTICOS	35
FIGURA 3.19: DISEÑO Y DIMENSIONES DE LA PUNTA DOSIFICADORA	36
FIGURA 3.20: ESTRUCTURA BASE DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA.....	37
FIGURA 3.21: DISEÑO Y DIMENSIONES DE LAS GUÍAS DE APOYO PARA LA ESTRUCTURA DOSIFICADORA.....	38
FIGURA 3.22: FUENTE DE ALIMENTACIÓN 24 (VDC) / 2.5 (A),	40
FIGURA 3.23: RESISTENCIA CALÓRICA EN FORMA DE "U" CON TRIPLE VUELTA.....	42
FIGURA 3.24: RELÉ ELECTROMECAÁNICO DE 24 (VDC).....	44
FIGURA 3.25: RELÉ EN ESTADO SÓLIDO Y CIRCUITO INTERNO.....	45
FIGURA 3.26: CILINDRO DE DOBLE EFECTO	45
FIGURA 3.27: CILINDRO DE CARRERA CORTA ADVC/AEVC	47
FIGURA 3.28: CILINDRO REDONDO DE DOBLE EFECTO DSNU/ESNU	49
FIGURA 3.29: CILINDRO NORMALIZADO DNCB SEGÚN ISO 15552.....	51
FIGURA 3.30: ACTUADOR GIRATORIO DFPB.	53
FIGURA 3.31: VÁLVULA DE BOLA VZBA (FESTO).....	53
FIGURA 3.32: PARTES DE LA UNIDAD DE MANTENIMIENTO	54
FIGURA 3.33: FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DISTRIBUIDORA 5/2	55
FIGURA 3.34: RACORES (VARIOS TIPOS).....	55
FIGURA 3.35: VÁLVULA DE ESTRANGULACIÓN.....	56
FIGURA 3.36: SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS ACTUADORES NEUMÁTICOS. (FUENTE PROPIA)	57
FIGURA 3.37: UBICACIÓN DE SENSORES MAGNÉTICOS	58

FIGURA 3.38: SENSOR SMT/SME8 (FESTO)	58
FIGURA 3.39: SENSOR CAPACITIVO CM30-16BPP-KC1.	59
FIGURA 3.40: TRANSMISOR DE TEMPERATURA TIPO SONDA	60
FIGURA 3.41: PLC SIEMENS 1214 DC/DC/DC.....	61
FIGURA 3.42: ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC S7-1200.....	61
FIGURA 3.43: DIAGRAMA DE PROCESOS DE LA MÁQUINA DOSIFICADORA.....	64
FIGURA 3.44: PROGRAMACIÓN DE CAUDAL DE LLENADO DE LA TOLVA.	68
FIGURA 3.45: PROGRAMACIÓN DE LA SIMULACIÓN DEL LLENADO DE LA TOLVA DOSIFICADORA....	69
FIGURA 3.46: ACTIVACIÓN DE LOS SENSORES DE NIVEL EN LA TOLVA DOSIFICADORA.....	70
FIGURA 3.47: ACONDICIONAMIENTO DEL TRANSMISOR DE TEMPERATURA.	72
FIGURA 3.48: DATOS DE INGRESO DEL VOLUMEN DEL MOLDE POR UNIDAD Y EL NÚMERO DE FILAS Y COLUMNAS DEL MOLDE.....	73
FIGURA 3.49: HMI INICIO DEL PROGRAMA, EH INGRESO DE DATOS.	74
FIGURA 3.50: HMI CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DEL CHOCOLATE.	75
FIGURA 3.51: HMI CONTROL DE TEMPERATURA.....	75
FIGURA 6.1: VISTA INICIAL TIA PORTAL V15.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.2: CREACIÓN DE UN NUEVO PROYECTO.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.3: SELECCIÓN DEL CONTROLADOR.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.4: SELECCIÓN DEL SISTEMA PC.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.5: SELECCIÓN DEL MÓDULO DE COMUNICACIÓN.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.6: SELECCIÓN DEL MÓDULO DE EXPANSIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.7: PARTES DEL SOFTWARE TIA PORTAL.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.8: CONFIGURACIONES DE LA IP DE LOS DISPOSITIVOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.9: TABLA DE VARIABLES ESTÁNDAR.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.10: VENTANA DE BLOQUES DE PROGRAMACIÓN.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.11: SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE KOP.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.12: SEGMENTO DE PROGRAMACIÓN EN FUP.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
FIGURA 6.13: INSTRUCCIONES EN AWL.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1: FUERZAS TÉCNICAS EN CILINDROS DE DOBLE EFECTO.....	31
TABLA 3.2: ELEMENTOS ELECTRÓNICOS.	40
TABLA 3.3: GRADOS IDEALES PARA LA FUNDICIÓN DEL CHOCOLATE.....	41
TABLA 3.4: DIÁMETROS Y VELOCIDADES DE LOS CILINDROS NEUMÁTICOS	46
TABLA 3.5: CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL CILINDRO COMPACTO ADVC/AEVC.....	48
TABLA 3.6: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CILINDRO REDONDO DSNU/ESNU.....	50
TABLA 3.7: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CILINDRO NORMALIZADO.....	52
TABLA 3.8: DESCRIPCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC S7-1200	62
TABLA 6.1: SIGNIFICADO Y DESCRIPCIÓN DE NEMÓNICOS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

RESUMEN

En el proyecto se presenta el diseño y simulación de un dosificador de chocolate automático para pequeñas confiterías. La simulación del sistema electromecánico está compuesta por la integración de procesos eléctricos y mecánicos, cuyo funcionamiento es dirigido por un Controlador Lógico Programable.

En este documento se definen las herramientas apropiadas para realizar el diseño mecánico de la máquina dosificadora y el diseño del algoritmo de control que dirige la simulación virtual.

Para el diseño de las piezas mecánicas del proceso de dosificación se utilizó el software de diseño mecánico SolidWorks y modelos CAD que proveen los fabricantes en hojas técnicas como, por ejemplo: Rodamientos, pernos, tuercas, entre otros. El proceso de diseño inició con la selección o dimensionamiento de los materiales a emplear y la geometría de los componentes que interactúan con la máquina dosificadora. A continuación, se determinó la presión, fuerza y la longitud de carrera de los cilindros empleados, así también se analizó la presión necesaria para que el chocolate, cumpla con su proceso de dosificación.

Una vez diseñado el sistema mecánico se simuló el movimiento de las piezas mecánicas y con ayuda del software TIA Portal se inició la simulación y la interacción de los componentes eléctricos y mecánicos con ayuda de un HMI virtual, esto para analizar el funcionamiento del sistema, además, se realizó un manual de construcción con las explicaciones detalladas de sus construcción y funcionamiento de los componentes principales

ABSTRACT

This project presents the design and simulation of automatic chocolate dispenser for small confectioneries. The simulation of the electromechanical system is made up of the integration of electrical and mechanical processes, the operation of which is directed by a Programmable Logic Controller.

This document defines the appropriate tools to carry out the mechanical design of the dosing machine and the design of the control algorithm that directs the virtual simulation.

For the design of the mechanical parts of the dosing process, the SolidWorks mechanical design software was used, and the use of CAD models provided by the manufacturers in technical sheets, such as: Bearings, bolts, nuts, among others. The design process began with the selection of the materials to be used and the geometry of the components that interact with the dosing machine. Next, the pressure, force and stroke length of the cylinders used were determined, thus the pressure necessary for the chocolate to comply with its dosing process was also analyzed.

Once the mechanical system is designed, the movement of the mechanical parts is simulated and with the help of the TIA Portal software, the simulation and interaction of the electrical and mechanical components begins with the help of a virtual HMI, this to analyze the functioning of the system. In addition, a construction manual is made with detailed explanations of its construction and operation of the main components.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la mayoría de empresas y microempresas chocolateras, el proceso de dosificación del chocolate es esencial para determinar la cantidad necesaria del producto, existe gran cantidad de pérdidas que se generan al momento de dosificar la cantidad correspondiente en los diferentes moldes existentes para el consumidor, generando pérdidas económicas por una mala dosificación que por lo general es mayor a la cantidad deseada, o a su vez generando mala credibilidad si la dosificación es menor a la cantidad acordada del producto hacia el consumidor.

Debido a esto el presente proyecto describe el diseño y la simulación de un dosificador de chocolate para un molde de 2, 3 o 6 unidades, el proyecto conformado por una tolva donde se suministra la materia prima, una estructura de acero inoxidable en donde se realizará los movimientos principales de la dosificación: Absorción, empuje y dosificación, placas de duro aluminio que servirán de estructura para la parte dosificadora, ejes de acero inoxidable para la manipulación del dosificador, bocines de Grilón para el movimiento de las puntas dosificadoras, rodamientos para el movimiento del eje dosificador, y retenedores para evitar fugas de la materia prima.

1.2 Justificación

Los principales beneficiados de este proyecto son las microempresas chocolateras, que deseen mejorar el proceso de dosificación de chocolate en su negocio, las cuales se favorecerán a través del diseño y la simulación adecuada para la automatización de dicho proceso.

El diseño y simulación de un sistema automático, tiene como beneficio dar a conocer el comportamiento de dicho proceso, sin la necesidad de implementarlo, asegurando una mejora eficiente de la energía y la materia prima. En las industrias el aprovechamiento de los recursos y la materia prima es esencial para obtener los ingresos necesarios para mantenerse en pie, debido a esto las empresas de gran tamaño, han tenido la necesidad de automatizar sus procesos industriales, dando como resultado procesos más rápidos, mejorando la eficiencia y productividad.

En las microempresas chocolateras tales procesos son realizados de forma manual, dando como resultado una ineficiencia a la fabricación del producto, obteniendo: Pérdidas en los tiempos de procesamiento, pérdidas de la materia prima, y gastos innecesarios en contratación de mano de obra calificada.

Un correcto diseño del proceso de dosificación brinda seguridad y confianza en la porción exacta del producto, disminuyendo el desperdicio de materia prima, es importante que el diseño y la simulación demuestren los resultados deseados para dicho proceso, para que posteriormente este pueda ser implementado en caso de necesitar cualquier microempresa chocolatera.

1.3 Objetivos

Objetivo General

Simular un dosificador de chocolate automático.

Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso de dosificación de chocolates.
2. Diseñar el sistema mecánico de dosificación.
3. Diseñar el hardware del sistema dosificador de chocolate.

4. Elaborar un algoritmo de control del proceso de dosificación de chocolate.
5. Elaborar el manual de construcción de la máquina.

1.4 Fundamentos Teóricos

Antes, el proceso de dosificación se desarrollaba de forma manual con una cucharada de medida única según a cada bombón de fabricación, con el paso del tiempo se desarrolló un embudo con divisiones que contaban con diversos tipos de medidas dependiendo de la porción requerida del bombón de chocolate, cuando se terminaba el chocolate del embudo, el operario tiene que nuevamente volverlo a llenar para continuar con el proceso de dosificado. Con el paso del tiempo se comenzó a mejorar este proceso con ayuda de la automatización con la finalidad de mejorar tiempos y disminuir costos, optimizando este proceso, hasta encontrar hoy en día un sin número de dosificadoras en el mercado. [1]

Tipos de dosificación de alimentos

En la industria de los alimentos, existen dos procesos de dosificación que son:

1. Dosificación de Líquidos.
2. Dosificación de Sólidos.

Dosificación de Líquidos.

La dosificación de Líquidos es un proceso industrial cuya característica es proporcionar la cantidad de líquido requerido del producto en un envase plástico, esto se lo realiza en con ayuda de un dosificador volumétrico, el cual proporcionará la cantidad del producto, según la calibración del dosificador volumétrico.

Dosificación de Sólidos.

La dosificación de sólidos es un proceso industrial cuya característica es proporcionar la cantidad de sustancias solidas antes del empaquetado o posterior a la mezcla de algún producto determinado, ya que en las industrias la mezcla de algún producto determinado, viene dado de la dosificación de sustancias líquidas y sólidas predeterminadas para la obtención del producto final, el dosificador ideal para la dosificación de sólidos es el dosificador gravitatorio, debido a que este se encuentra compuesto por un sistema de pesaje, esencial para el peso del producto necesario. [2]

- **Tipos de Dosificadoras.**

Las dosificadoras son máquinas que tienen como función específica extraer porciones o dosis de diferentes tipos de productos ya sean líquidos o sólidos, para entregar cantidades deseadas en una mezcla de algún producto y suministrar la cantidad de dicho producto ya sea en un recipiente o sachet, en la industria se conocen dos tipos de dosificadoras:

- Dosificadora Volumétrica.
- Dosificadora Gravimétrica.

Dosificadora Volumétrica

Una dosificadora volumétrica, es una máquina que permite dosificar la cantidad de volumen de algún producto que se desee dosificar existen dosificadoras volumétricas para sólidos, como por ejemplo el dosificador de tornillo, cuyo funcionamiento es medir el volumen por medio de un tornillo, descargando el producto medido con cada revolución a través de un cilindro de descarga, véase la Figura 1.1.



Figura 1.1: Dosificadora volumétrica de tornillo, [3]

Como existen dosificadores volumétricos para sólidos, también existen dosificadores volumétricos para líquidos, los cuales son denominados inyectoras de dosificación, las cuales dosifican: Líquidos, semilíquidos, y líquidos o semilíquidos tropezones, véase la Figura 1.2.



Figura 1.2: Dosificadora volumétrica de líquidos, [3]

Dosificadora Gravimétrica.

La característica de las dosificadoras gravimétricas es que operan bajo el método de la pérdida de peso diferencial, esto quiere decir que operan en base a la pérdida del peso del material en un tiempo específico, este método ofrece una dosificación más precisa y confiable, una de las ventajas de la dosificadora gravimétrica es que no necesita una calibración frecuente, véase la Figura 1.3.



Figura 1.3: Dosificadora gravimétrica o pérdida de peso diferencial, [4]

- **Fabricación del producto**

Como materia prima base de dosificación se escogió al chocolate para este proyecto, debido a su comercialización en tiendas y confiterías locales. El chocolate es un alimento resultante de la combinación del azúcar con productos derivados del cacao, la masa del cacao y la manteca del mismo fruto, a partir de esta combinación se elaboran distintos tipos de chocolate dependiendo de la mezcla de otros productos, como la leche, colorante y otros frutos secos.

Para la fabricación del chocolate se siguen los siguientes pasos:

1. Cultivo y cosecha
2. Desgrane
3. Fermentación
4. Secado
5. Trituración
6. Torrefacción
7. Molienda
8. Tratamiento de leche

9. Mezclado
10. Refinación
11. Conchado
12. Templado
13. Mezcla con ingredientes
14. Moldeo y embalaje, [5]

Los pasos tomados en consideración para la elaboración del chocolate antes de su dosificación y post al empaquetado fueron los siguientes:

Molienda

Una vez tostadas las semillas son molidas de nuevo alcanzando una alta temperatura por el alto contenido de grasa, convirtiéndose en una masa líquida denominada “licor de cacao”.

Tratamiento de leche

La leche se mezcla con el azúcar y se concentra antes de mezclarla con la pasta de cacao, dando un toque caramelizado al chocolate.

Mezclado

En función al tipo de chocolate se mezclan los siguientes ingredientes:

- Chocolate negro: Pasta de cacao, manteca de cacao, azúcar.
- Chocolate con leche: Pasta de cacao, manteca de cacao, azúcar y leche.
- Chocolate blanco: Manteca de cacao, azúcar y leche.

Refinación

Debido a su textura granulosa el chocolate pasa por unos rodillos disminuyendo el tamaño de las partículas, este proceso es esencial para que el chocolate obtenga su finura y calidad.

Conchado

El cacao se somete al proceso de conchado, en donde la mezcla es amasada durante horas y donde pierde parte de los aromas amargos y ácidos, durante este proceso se añade manteca de cacao y lecitina con el fin de incrementar la fluidez de la mezcla.

Templado

Es el proceso de enfriamiento controlado del chocolate para obtener una perfecta cristalización de la manteca de cacao.

Mezcla con ingredientes

Se incorporan almendras, avellanas o galletas.

Moldeo y embalaje

Finalmente, el chocolate es dosificado en moldes de plástico, dando la forma de dichos moldes, y pasa por un túnel de enfriamiento y es empaquetado para su distribución.

- **Cilindros neumáticos.**

Son elementos que transforman la energía potencial del aire comprimido en energía cinética, consisten en un cilindro y dentro del mismo un émbolo o pistón, su funcionamiento es determinado por el aire comprimido que realiza su accionamiento, este aire comprimido viaja por la cámara del cilindro y desplaza al pistón con un movimiento lineal, la longitud de desplazamiento es determinado por la carrera del cilindro neumático. Su fuerza de empuje

es proporcional a la presión del aire y a la superficie del pistón, su fuerza se la puede determinar con la siguiente ecuación. [6]

$$F = P \cdot A \quad (1)$$

Donde:

F: Fuerza generada por el cilindro neumático.

P: Presión que el cilindro genera.

A: Área del pistón del cilindro neumático.

- **Cilindros según su construcción.**

Cilindro de simple efecto.

Su accionamiento es determinado por el aire a presión que viaja en un solo sentido, y su retorno de carrera se da por un muelle incorporado o resorte dentro del cilindro neumático, la fuerza obtenida en un solo sentido es un tanto menor a la ecuación anterior debido a que se descuenta la fuerza de oposición del muelle incorporado. Véase la Figura 1.4.

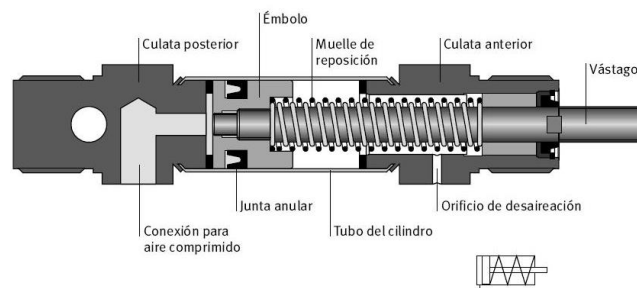


Figura 1.4: Partes del cilindro de simple efecto, [6]

Cilindros de doble efecto.

Dentro de los cilindros de doble efecto existen dos tipos dependiendo de la carga que va a ejercer el mismo: Cilindro con amortiguación y cilindro sin amortiguación, ambos con el mismo funcionamiento el pistón o émbolo recibe el aire a presión en los dos sentidos del cilindro, permitiendo un accionamiento lineal por una entrada y un retorno lineal por la otra. Véase la Figura 1.5

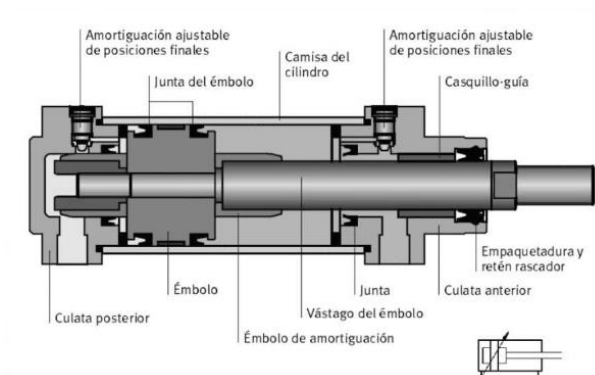


Figura 1.5: Partes del cilindro de doble efecto, [6]

Cilindro de doble vástago.

El cilindro de doble vástago tiene un vástago corrido hacia ambos lados, como se visualiza en la Figura 1.6, este cilindro está conformado de dos cojinetes que guían de manera más precisa al vástago y es ideal para trabajos en donde sean necesarios 2 tipos de accionamiento.

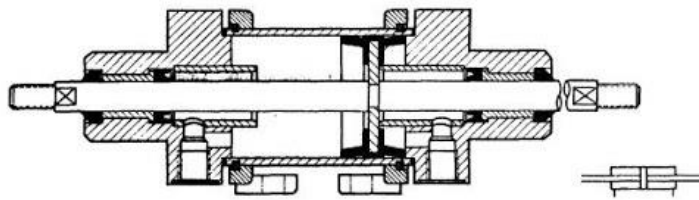


Figura 1.6: Cilindro de doble vástago, [6]

Cilindro neumático con imán incorporado.

Ciertos pistones vienen ya incorporados con un imán en su cilindro el cual funciona como un sensor magnético que se despliega por todo el cilindro, este sensor es de gran utilidad para cortar o detener la carrera del cilindro neumático comandado por controlador lógico programable en ciertos casos, este cilindro se puede visualizar en la Figura 1.7.



Figura 1.7: Cilindro redondo con imán incorporado, [6]

Normalización ISO

La normativa ISO (*International Standard Organization*) han establecido una serie de normas para el dimensionamiento de los cilindros neumáticos, en ellas básicamente se establecen las dimensiones y los aspectos que un operario pueda determinar el uso de diversos cilindros neumáticos, según las normas establecidas estable los diámetros nominales para la construcción de los cilindros, extremos de vástago, roscas, materiales, tolerancias y accesorios de montaje de los cilindros neumáticos.

De acorde a la normalización ISO, se establecen una serie de diámetros que son las siguientes: 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, hasta 320 (mm).

Los 6 primeros diámetros de 8 hasta 25 (mm) corresponden a los diámetros de los micro cilindros los cuales no componen de tensores y no son desarmables, en tanto los restantes son conocidos como cilindros.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada.

La metodología usada está basada principalmente en las estrategias y procedimientos que se llevaron a cabo para la realización de este proyecto, utilizando una metodología de diseño, haciendo referencia al método como a la manera de diseñar el dosificador de chocolate; las técnicas como las herramientas que se utilizaron para el presente proyecto: Programas, libros, manuales, entre otros; el modelo como la representación final del dosificador de chocolate, además, se utilizó un tipo de investigación explicativa para describir el funcionamiento de una máquina dosificadora de chocolate, esto a través del diseño y simulación de este proceso. [7]

Este proyecto se realizó principalmente con un estudio de distintos diseños de dosificadores implementados en la industria, así se determinó un diseño eficiente y eficaz para el proceso de dosificación, a partir del diseño determinado se realizó la automatización de dicho proceso en el software TIA Portal, dicho proceso se visualiza en un interfaz humano máquina (HMI), para visualizar el comportamiento del proceso de dosificación de chocolate en una simulación SCADA.

A continuación, se puede visualizar en la Figura 2.1 el esquema de la metodología usada para el presente proyecto.

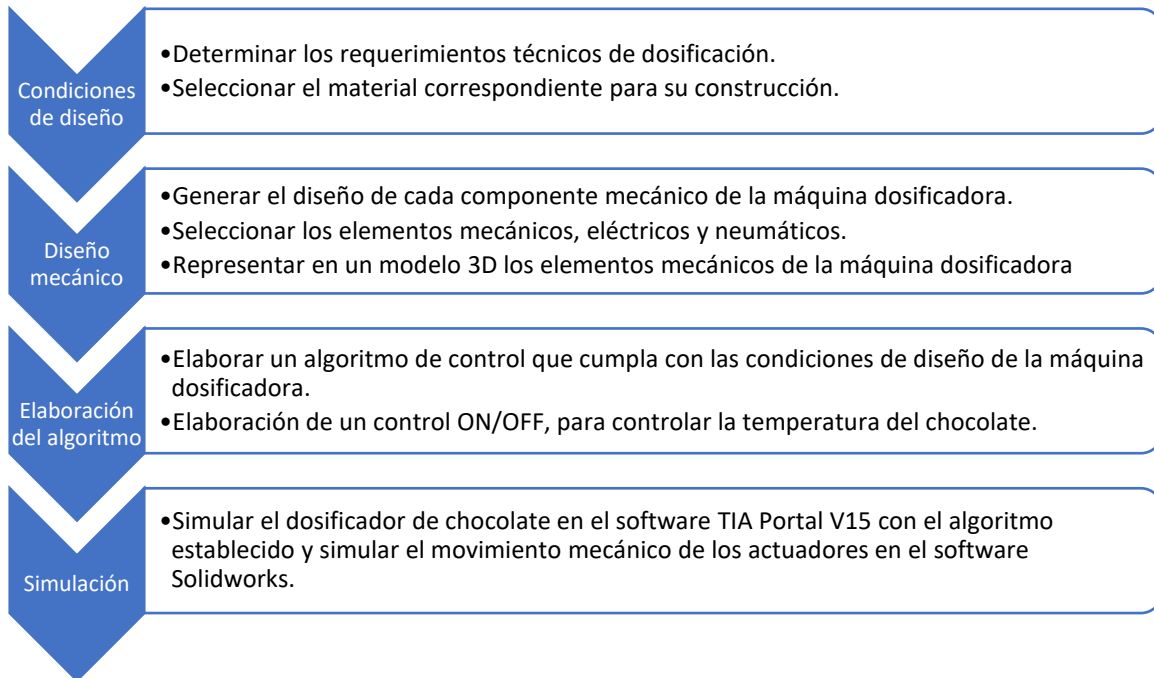


Figura 2.1: Esquema de la metodología usada en el proyecto. (Fuente Propia)

2.2 Técnicas e instrumentos empleados en la ejecución del proyecto

La simulación de un dosificador de chocolate automático cuenta con un diseño mecánico desarrollado en el software SolidWorks [8] y un dimensionamiento de los elementos eléctricos, electrónicos y neumáticos para la automatización de la máquina. Tomando en cuenta los resultados de los cálculos de dimensionamiento de los elementos eléctricos se desarrolló diagramas de conexión de los distintos elementos eléctricos y electrónicos

Con el diseño mecánico y el dimensionamiento de los distintos elementos que componen el dosificador de chocolate, se determinó el algoritmo de control necesario que cumpla con la finalidad del dosificador de chocolate mediante el software TIA Portal. [9]

Luego de obtener el diseño y la simulación correspondiente de la dosificación se procedió a las pruebas y observaciones de dosificación, con la finalidad de encontrar errores de diseño y errores de dosificación encontrados en la simulación.

Finalmente, luego de corregir errores encontrados, se procedió a desarrollar un manual de construcción de la máquina, en caso de que la máquina pudiera ser implementada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

En esta sección se estableció los cálculos de dimensionamiento de dispositivos eléctricos y neumáticos, para la selección de dichos componentes, además, se estableció el dimensionamiento de las piezas mecánicas que conformarán la máquina y los materiales para la elaboración de estas.

Se detalla también los diagramas de conexión del hardware de la máquina y se determina el algoritmo de control utilizado en el HMI virtual.

3.1 Estudio del proceso y diseños de dosificación de chocolate.

La dosificación es uno de los procesos más importantes de la fabricación del chocolate, debido a que este determina la cantidad necesaria que deben tener las porciones del producto para que este cumpla con las necesidades y expectativas del consumidor.

La simulación de la máquina dosificadora de chocolate proporciona la cantidad deseada del producto en moldes de confitería, se eligió realizar una dosificadora volumétrica la cual consta de un mecanismo que realizará la función de manera automática, ingresando los valores de la cantidad de porción del molde, el caudal másico de chocolate y la temperatura de fundición del chocolate, disminuyendo así las pérdidas de la materia prima y evitando una mala dosificación del producto, dando como resultado confianza en las salidas de los lotes del producto y distinción del producto hacia los consumidores.

- **Especificación del producto.**

Para este proyecto se determinó la masa líquida del chocolate negro y blanco simple sin ingredientes adicionales como avellanas, almendras o galletas, debido a que las

condiciones de diseño constan de tuberías pequeñas en el área de dosificación y el traslado de chocolate líquido con grumos adicionales impediría el cierre hermético de las puntas dosificadoras, dando como resultado dosificaciones en exceso u obstrucciones del producto en ciertas áreas.

3.2 Diseño mecánico del dosificador de chocolate

- **Materiales empleados para la dosificadora de chocolate**

Acero inoxidable ANSI304/304L

Este acero inoxidable es seleccionado por su resistencia al óxido y dureza, resistencia al óxido en ambientes altamente contaminantes o en contacto con ácidos. El acero inoxidable AISI 304/304L (que se visualiza en la Figura 3.1) se utilizó debido a sus características técnicas como: resistencia al óxido, excelente respuesta mecánica, y buena resistencia, sean necesarias para algún ensamble o proceso industrial debido a la variación de 18% de cromo y 8% de aleación austenítica de níquel, según la norma AISI, además, de contar con una resistencia mecánica de 80 (kg/mm²), este acero es ideal para la fabricación de piezas mecánicas, expuestas a movimientos rígidos.

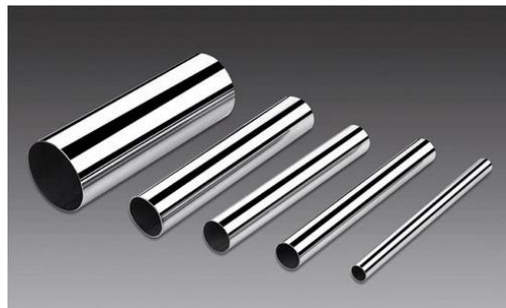


Figura 3.1: Tubería de acero inoxidable AISI 304/304L, [10]

Aluminio 6061

La Aleación de aluminio 6061 (véase la Figura 3.2), se utilizó para el presente proyecto en la estructura del área de dosificación, por ser una de las aleaciones más comunes para un uso general en piezas para maquinaria, debido a que tiene una excelente resistencia a la corrosión, gran facilidad en el acabado, y presentar una fuerza a la tracción de 25 (MPa), con un límite elástico de 55 (MPa), además, por ser uno de los materiales más empleados en la industria alimenticia y a veces a pasar a ser un sustituto del acero inoxidable por sus similares propiedades.



Figura 3.2: Bloques y barras de Aluminio 606, [11]

Grilón

Se empleó el material Grilón en los bujes de dosificación y en los bocines deslizantes, esto por ser un material duro elástico con un módulo de elasticidad de 1.88×10^4 (kg/cm²), con alta resistencia mecánica de 0.8 a 5.5 (ft.lb/in), y por estar sometida a desgaste continuo del eje de dosificación y de las puntas dosificadoras, se puede visualizar ejes industriales de uso alimenticio de Grilón en la Figura 3.3.

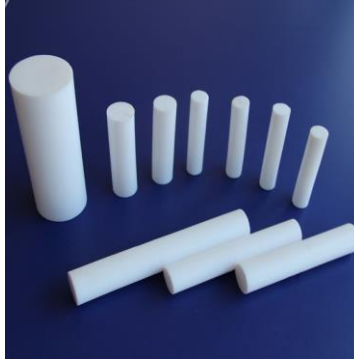


Figura 3.3: Ejes de plástico industrial GRILÓN, [12]

3.3 Diseño Mecánico.

El diseño de todos los componentes mecánicos se realizó en el software SolidWorks, tomando en cuenta las características técnicas de los elementos que componen la máquina dosificadora. [13]

A partir de los materiales seleccionados anteriormente, se define el diseño mecánico del dosificador de chocolate, el cual consiste principalmente de los siguientes elementos. (Véase la Figura 3.4)

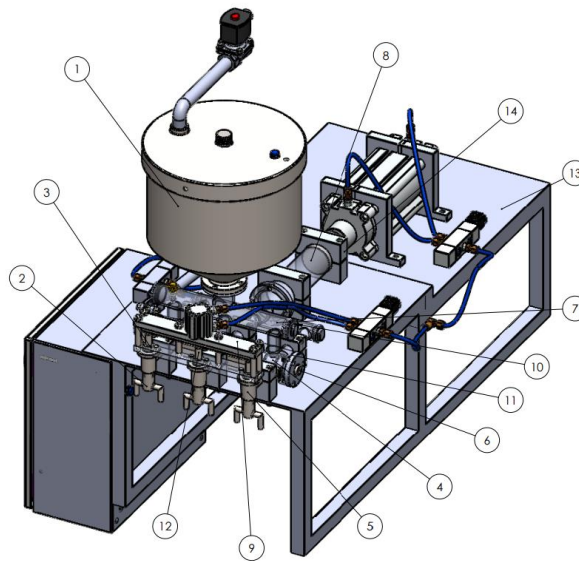


Figura 3.4: Diseño mecánico del dosificador de chocolate. (Fuente Propia)

1. Tolva
2. Boquillas dosificadoras
3. Bocines deslizantes
4. Bocines de retención
5. Cilindros dosificadores
6. Eje dosificador
7. Estructura dosificadora
8. Guía y pistón dosificador
9. Placas de aluminio
10. Tapas laterales
11. Retenedores y pernos de sujeción
12. Puntas dosificadoras
13. Estructura base
14. Guías de apoyo

- **Tolva**

Se realizó el diseño de un recipiente de cono invertido, encargado de almacenar el producto dentro de su interior con una abertura pequeña en su parte inferior que proporciona el contenido a la estructura dosificadora, como invertido es soldado con una placa redonda para la sujeción con la estructura de dosificación. Además, de una perforación en el costado lateral para la ubicación de un sensor de nivel.

Para el cálculo de la capacidad del volumen que soportará la tolva se tomó el volumen del cilindro y el volumen del cono invertido:

Para el cilindro se tiene los siguientes datos:

ϕ : 300 (mm)

h : 200 (mm)

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (2)$$

$$V_{cilindro} = \pi \cdot 150mm^2 \cdot 200mm$$

$$V_{cilindro} = 14137166.94 \text{ mm}^3 \cdot \frac{0.001 \text{ cm}^3}{1 \text{ mm}^3} \cdot \frac{0.001 \text{ litros}}{1 \text{ cm}^3}$$

$$V_{cilindro} = 14.137 \text{ (lt)}.$$

Además, para el cono invertido se tiene:

ϕ_1 : 300 (mm)

ϕ_2 : 34 (mm)

h : 100 (mm)

$$V_{cono} = \frac{h \cdot \pi}{3} \cdot (R_1^2 + R_2^2 + R_1 \cdot R_2) \quad (3)$$

$$V_{cono} = \frac{100mm \times \pi}{3} \cdot (150mm^2 + 17mm^2 + 150mm \cdot 17mm)$$

$$V_{cono} = 2653493.875 \text{ mm}^3 \cdot \frac{0.001 \text{ cm}^3}{1 \text{ mm}^3} \cdot \frac{0.001 \text{ litros}}{1 \text{ cm}^3}$$

$$V_{cono} = 2.6535 \text{ (lt)}$$

Entonces:

$$V_{total} = V_{cilindro} + V_{cono} \quad (4)$$

Se puede visualizar el diseño y las dimensiones de la tolva en la Figura 3.5.

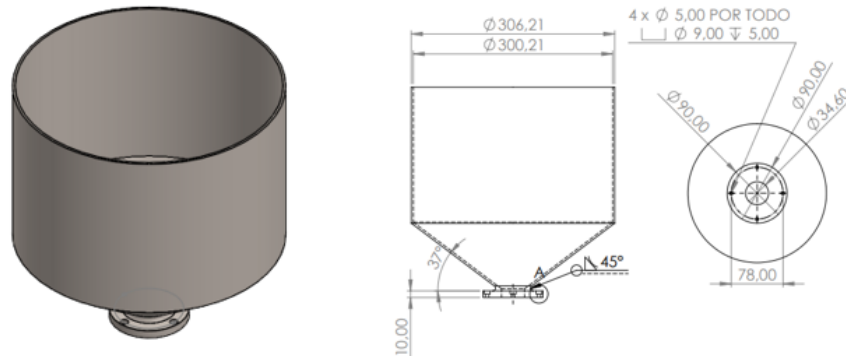


Figura 3.5: Diseño y Dimensiones de la Tolva dosificadora. (Fuente Propia)

La tolva consta de una tapa donde se posicionará un conjunto de pernos laterales para su sujeción, y dos orificios roscados, uno para la ubicación de la resistencia de calentamiento y la otra para la ubicación de un tubo de una pulgada el cual llena la tolva con el producto cuando la válvula de bola ha sido accionada.

En la Figura 3.6 se puede visualizar las dimensiones de la tapa y su diseño.

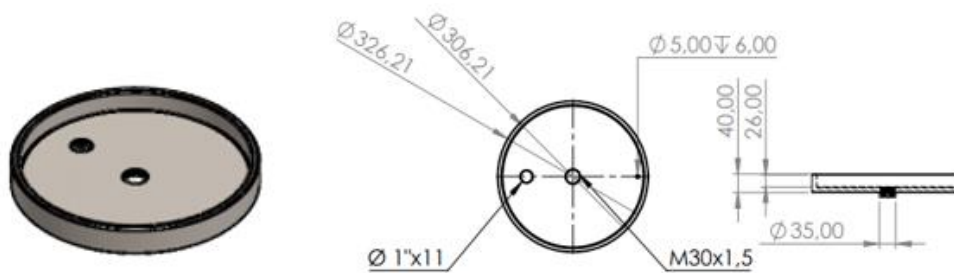


Figura 3.6: Dimensiones y Diseño de la tapa de la tolva. (Fuente Propia)

- **Boquillas dosificadoras**

Las boquillas dosificadoras, cumplen con la función de distribución del chocolate hacia los diferentes moldes de plástico existentes, constan de una junta roscada para el

acople con los cilindros dosificadores, la cual permite el movimiento rotacional para la dosificación del chocolate dependiendo de las distancias de separación de los moldes de plástico empleados. (Véase la Figura 3.7)

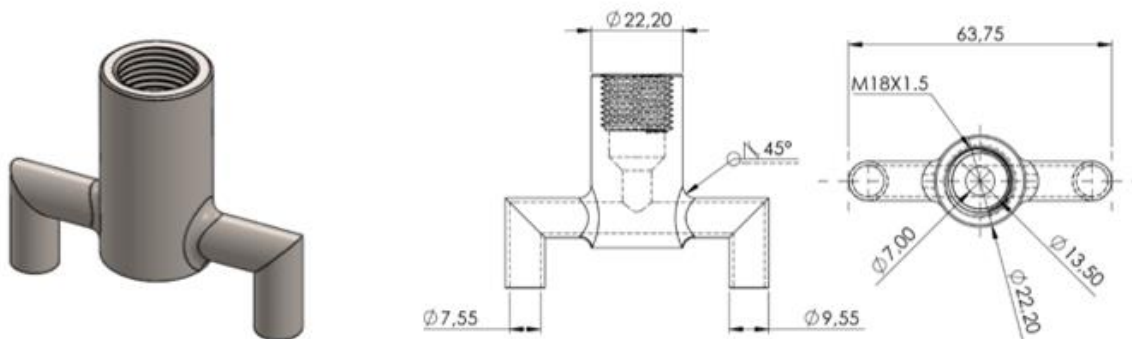


Figura 3.7: Dimensiones y diseño de las boquillas dosificadoras. (Fuente Propia)

- **Cilindros dosificadores**

Los cilindros dosificadores (que se visualizan en la Figura 3.8) sirven como guía de acople a las boquillas dosificadoras, por el cilindro dosificador pasarán las puntas dosificadoras abriendo o cortando el paso del chocolate, estos cilindros se componen de una junta soldada en una placa la cual sirve como acople hacia la estructura dosificadora de la máquina, sobre esta placa de acople se coloca una lámina de papel de fibra, para que al momento de empernar esta hacia la estructura dosificadora esta quede sellada.

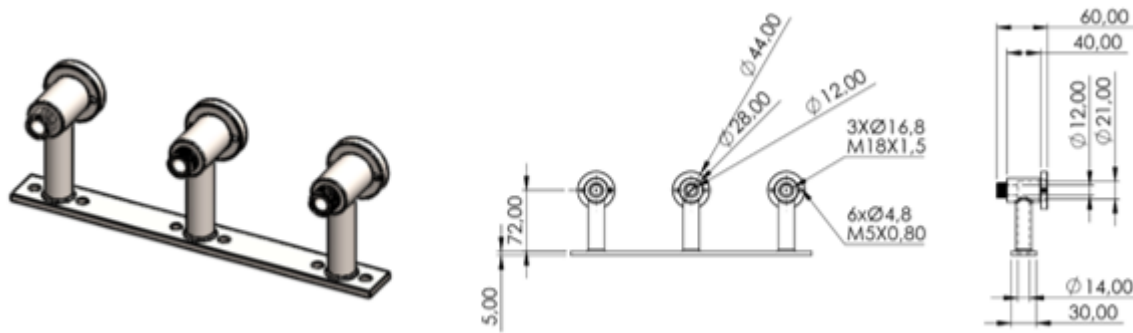


Figura 3.8: Dimensiones y diseño de los cilindros dosificadores. (Fuente Propia)

- **Bocines deslizantes**

Los bocines deslizantes son bocines acoplados en los cilindros dosificadores, su principal funcionamiento es retener el chocolate en la cámara de las puntas dosificadoras mientras suben o bajan las puntas de dosificación estos bocines estarán hechos de Grilón, que es un material resistente al deslizamiento y temperaturas un tanto elevadas. (Véase la Figura 3.9)

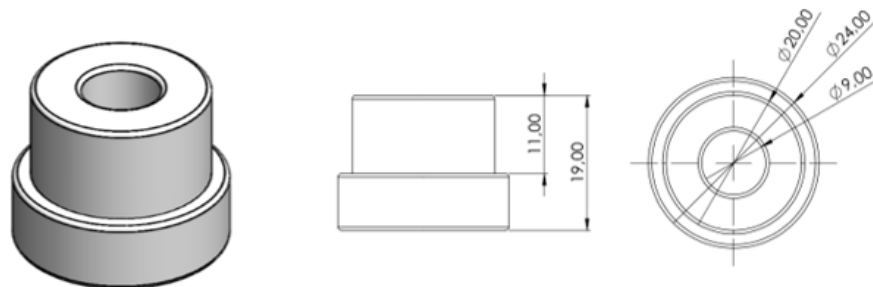


Figura 3.9 : Diseño y dimensiones de los bocines deslizantes. (Fuente Propia)

- **Bocines de retención.**

Los bocines de retención cumplen con la función de mantener una rotación estable al eje de dosificación, la máquina está compuesta por 3 bocines acoplados al eje dosificador, además de mantener una rotación estable estos retienen al chocolate en la cámara de la estructura dosificadora, para que se dirija hacia los bocines y puntas

dosificadoras, sus dos guías cilíndricas sirven para la colocación de retenedores de Vitón para mantener hermético el producto en la zona de dosificación (véase la Figura 3.10), estos bocines están fabricados de Grilón debido a que están en contacto con el producto, dicho material es inerte y no contaminante.

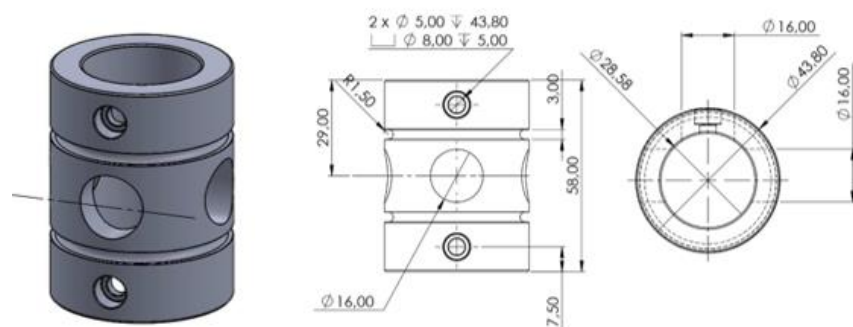


Figura 3.10: Diseño y dimensiones de los bocines de retención. (Fuente Propia)

- **Eje dosificador.**

Como su nombre lo dice el eje dosificador es el encargado de dosificar la porción indicada o requerida del chocolate, debido a que corta el paso de presión del émbolo hacia la salida de las boquillas y puntas dosificadoras, esto con ayuda de una biela acoplada a uno de sus extremos.

Puesto a que el eje dosificador se encuentra en contacto con el chocolate, y está en constante movimiento, se determinó que el material ideal para su construcción sea en acero inoxidable AISI 304/304L, por ser un material muy duradero e higiénico, mientras que el acero normal empieza su deterioro entre 15 a 20 años, el acero inoxidable puede superar los 60 años, esto por la cantidad de carbono presente en el material (0.08 a 0.035%), e higiénico debido a su composición y baja rugosidad, los agentes externos como polvo o bacterias no quedan adheridos a su superficie.

Las dimensiones de dicho eje se pueden visualizar en la Figura 3.11.

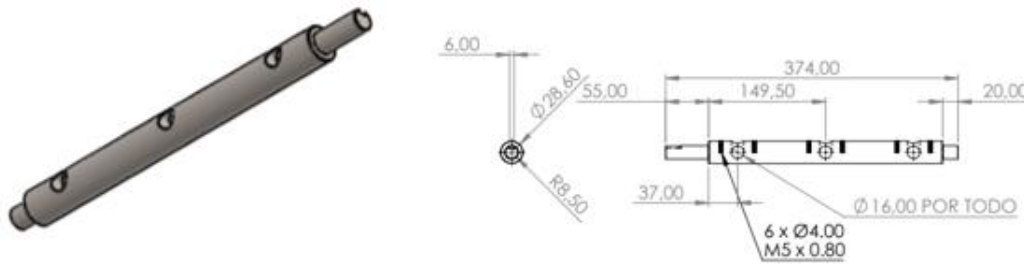


Figura 3.11: Diseño y dimensiones del eje dosificador. (Fuente Propia)

Para la fabricación de la biela se tomó en consideración el posicionamiento del cilindro neumático con respecto al chavetero del eje, debido a esto se consideró un ángulo de giro de 45° , además, se realizó un diseño con ajuste deslizante para el acoplamiento debido a la presencia de un chavetero que ayuda en el giro rotacional.

Se puede visualizar la tabla para la fabricación de chavetas en el Anexo A, y las dimensiones consideradas para la fabricación del chavetero para el presente proyecto en la Figura 3.12.

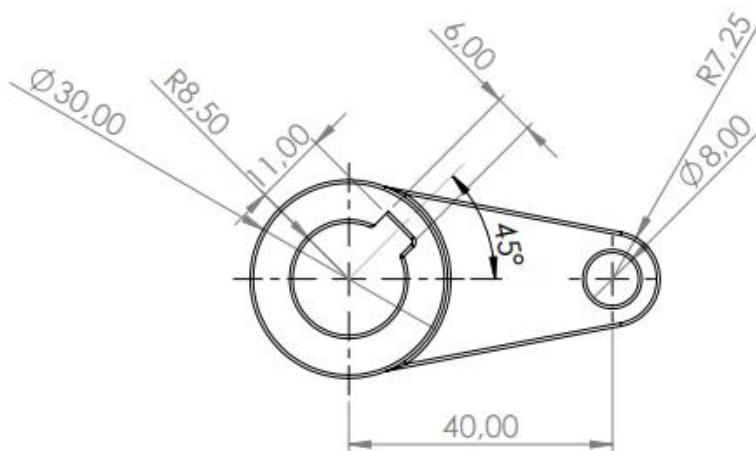


Figura 3.12: Dimensiones en chavetero de la biela. (Fuente Propia)

En la Figura 3.13 se visualiza el diseño del chavetero en el cilindro dosificador con los valores de la tabla en el Anexo A.

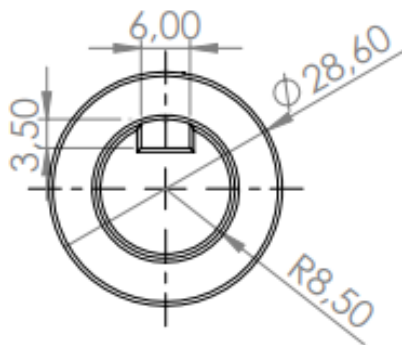


Figura 3.13: Dimensiones en el chavetero del eje. (Fuente Propia)

- **Estructura dosificadora.**

La estructura dosificadora es el cuerpo de la máquina dosificadora, se compone de tubería de acero inoxidable AISI 304 soldadas, dentro de ella se distribuye el chocolate por los ductos de dosificación en donde se encuentran el área de presión, el área de almacenamiento y el área de apertura, véase en la Figura 3.14.

Área de presión:

El área de presión está conformada por unos tubos que guían la presión generada por el émbolo o pistón de la guía del cilindro dosificador, esta presión tiende a ser igual a la presión generada por el cilindro neumático aproximadamente de 6 a 8 (bares), en consecuencia, la fuerza generada en esta área será la misma generada por el cilindro neumático por el coeficiente de rendimiento que para cilindros normalizados es aproximadamente un 85%.

Área de apertura:

El área de apertura cerrará o abrirá el paso de la presión del aire generada por la guía de dosificación, en esta área además de guiarse la presión de aire, guía el chocolate hacia las puntas de dosificación, al abrir el paso del aire a presión el chocolate viaja por las boquillas dosificadoras y es inyectada la porción o la cantidad de volumen ingresada en el

PLC, esta cantidad es determinada por un cilindro compacto que determinará un movimiento vertical para el cierre del producto.

Área de almacenamiento.

En el área de almacenamiento el chocolate se esparcirá por toda la tubería de la estructura dosificadora excepto en la tubería del área de presión, además, en este cilindro se encontrará acoplado un sensor de temperatura PT100 que medirá si el chocolate tiene la temperatura indicada de fundición y dependiendo de esto el sensor envía la información para el accionamiento de una resistencia de calentamiento. Cabe señalar que el área de almacenamiento se llenará con el área de apertura por el cierre del área de presión y el cierre de las puntas dosificadoras del cilindro compacto.

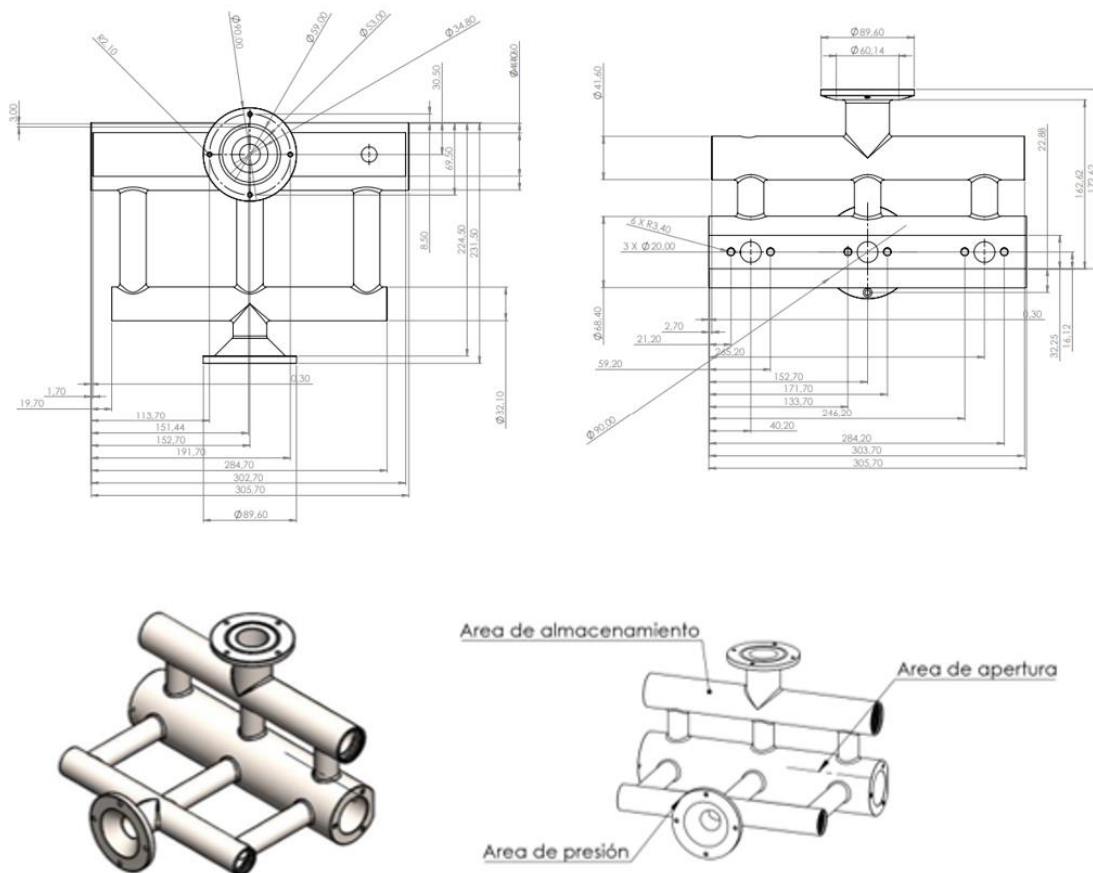


Figura 3.14: Diseño y dimensiones de la estructura dosificadora. (Fuente Propia)

- **Guía y pistón dosificador**

La guía y pistón dosificador cumplen la función de generar la presión de aire para que el chocolate llegue a las boquillas dosificadoras para que pueda ser proporcionado a los moldes de plástico, el pistón se encontrará colocado en un cilindro neumático el cual dará el accionamiento del émbolo para generar la presión.

Para el diseño de la guía y el pistón dosificador se considera un cilindro de 60 (mm) de diámetro y una presión de 6 (bares) de trabajo, además, el rendimiento de los cilindros se puede determinar con los siguientes datos si no se dispone de datos más precisos.

Para cilindros de hasta D=40 (mm) R=0.85

Para cilindros superiores a D=40 (mm) R=0,95

Entonces:

$$F_a = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot p \cdot R \quad (5)$$

Donde:

F_a = Fuerza del cilindro en N

D = Diámetro del cilindro en cm

p = Presión del aire en bares

R = Rendimiento del cilindro

La fuerza en el cilindro de retroceso para estos mismos cilindros será

Donde:

$$F_a = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot p \cdot R \quad (6)$$

d = Diámetro del vástago

$$F_a = \frac{\pi}{4}D^2 \cdot p \cdot R \quad (7)$$

Por lo tanto:

$$F_a = \frac{\pi}{4}(60mm)^2 \left(\frac{1m}{1000mm}\right)^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot 0.95$$

$$F_a = 1611.637 (N) \text{ ó } 161.163 (daN)$$

Con los valores obtenidos se selecciona un cilindro normalizado de 63 (mm) de diámetro, para realizar el trabajo. Véase en la Tabla 3.1

Tabla 3.1: Fuerzas técnicas en cilindros de doble efecto.

D mm	d mm	Sección cm ²		Esfuerzos en daN para presión en bar							
				2		4		6		8	
		Sa	Sr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr
10	4	0,8	0,6	1,6	1,2	3,2	2,4	4,8	3,6	6,4	4,8
12	6	1,1	0,8	2,2	1,6	4,4	3,2	6,6	4,8	8,8	6,4
16	6	2,0	1,7	4,0	3,4	8,0	6,8	12,0	10,2	16,0	13,6
20	10	3,1	2,3	6,2	4,3	12,4	8,6	18,6	13,8	24,8	17,2
25	12	4,9	3,8	9,8	7,6	19,6	15,2	29,4	22,8	39,2	30,4
32	12	8,0	6,9	16,0	13,8	32,0	17,6	48,0	41,4	64,0	55,2
40	18	12,6	10,0	25,2	20,0	50,4	40,0	75,6	60,0	100,8	80,0
50	18	19,6	17,0	39,2	34,0	78,4	68,0	117,6	102,0	156,8	136,0
63	22	31,2	27,4	62,4	54,8	124,8	109,6	187,2	164,4	249,6	219,2
80	22	50,3	46,5	100,6	93,0	201,2	186,0	301,8	279,0	402,4	372,0
100	30	78,5	71,5	157,0	143,0	314,0	286,0	471,0	429,0	628,0	572,0
125	30	123,	115,7	246,0	213,4	492,0	462,8	738,0	694,2	984,0	925,6
160	40	201,0	188,0	402,0	376,0	804,0	752,0	1206,0	1128,0	1608,0	1504,0
200	40	314,0	301,0	628,0	602,0	1256,0	1204,0	1884,0	1806,0	2512,0	2408,0
250	50	491,0	471,0	982,0	942,0	1964,0	1884,0	2946,0	2826,0	3928,0	3768,0

Fuente: [6]

A continuación, se visualiza en la Figura 3.15 las dimensiones de la guía dosificadora y las del cilindro dosificador.

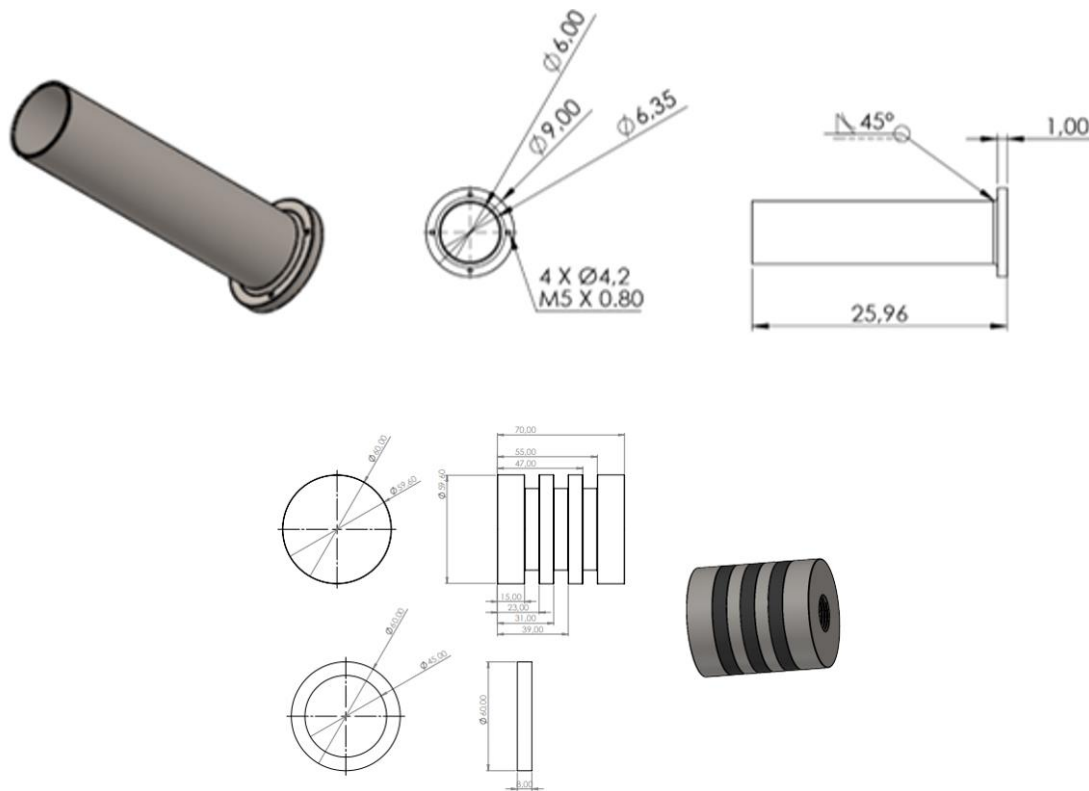
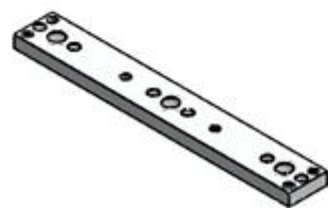
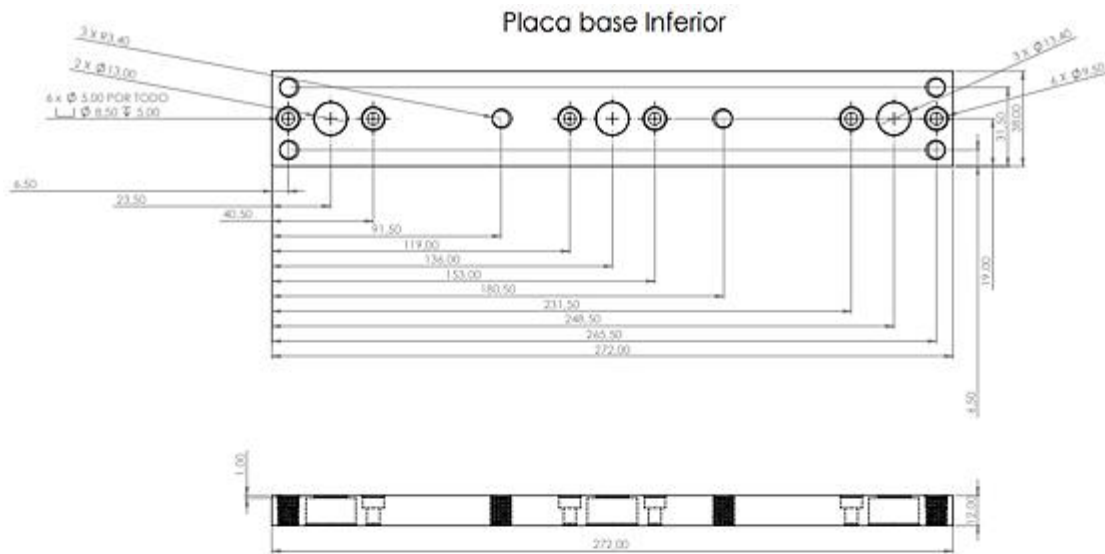


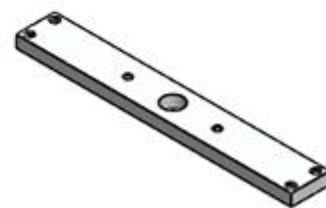
Figura 3.15: Diseño y dimensiones de la guía dosificadora y su pistón. (Fuente Propia)

- **Placas de aluminio**

El área dosificadora se compone de dos placas de aluminio sujetas con tornillos espárragos véase en la Figura 3.16, estas placas servirán como esqueleto de soporte para la ubicación del cilindro neumático compacto, además de servir como guía para las puntas dosificadoras y los cilindros de dosificación. En la placa base inferior se encuentra un alojamiento para los bocines deslizantes, para mantener hermética esta área en el deslizamiento de las puntas dosificadoras.



Placa base Inferior



Placa base Superior

Figura 3.16: Placas base superior e inferior de aluminio. (Fuente Propia)

- **Tapas laterales.**

La estructura dosificadora se compone de tres pares de tapas laterales, estas tapas laterales tienen alojamientos para la ubicación de retenedores, con la finalidad de mantener a la estructura y las diferentes áreas de dosificación herméticas, además, será de gran importancia colocar papel hermético conocido en el mercado como papel victoria para evitar fugas del producto, cuando el émbolo del cilindro dosificador genere la presión necesaria para la inyección de la dosificación de chocolate. (Véase la Figura 3.17)

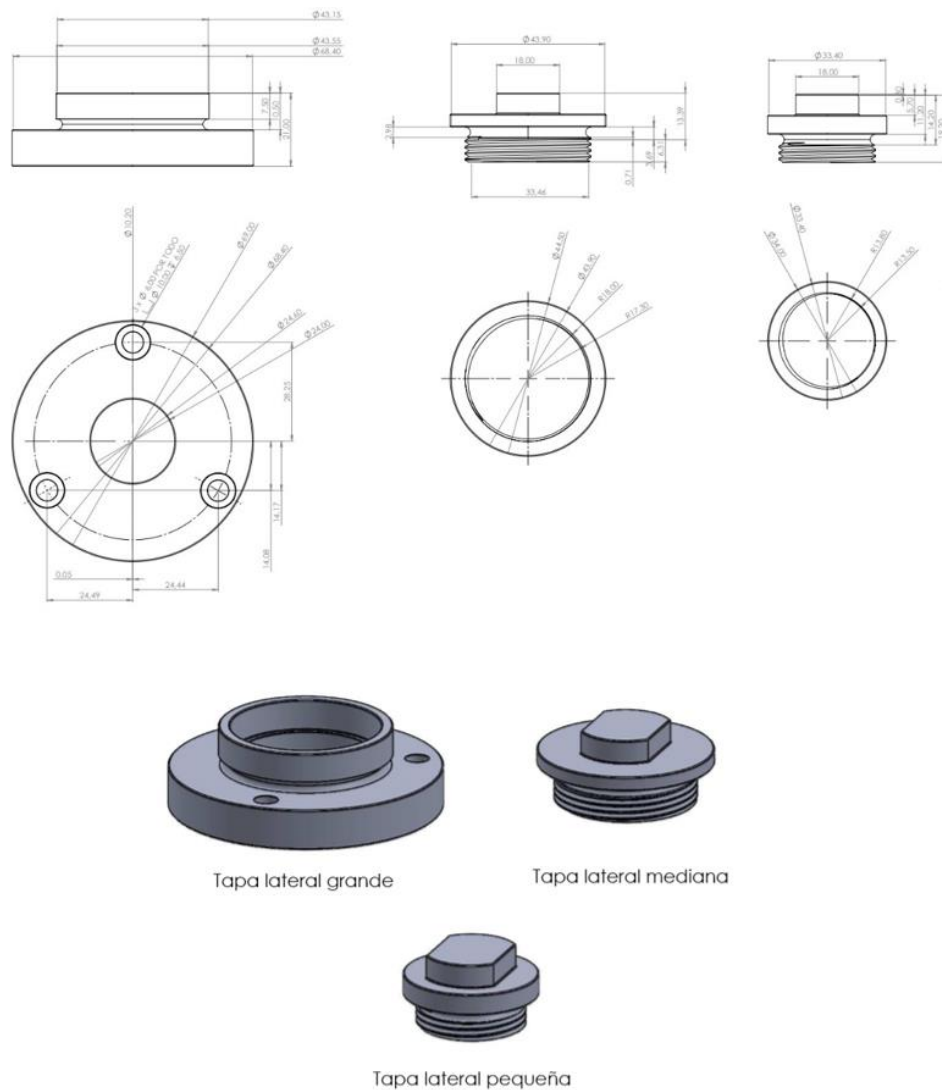


Figura 3.17: Diseño y dimensiones de las Tapas laterales de la estructura dosificadora. (Fuente Propia)

- **Retenedores.**

Se utiliza retenedores de Vitón para dar un cierre hermético a la estructura dosificadora y sobre todo en el área de presión, el área de almacenamiento y el área de apertura, van colocados en las tapas laterales que cierran a la estructura dosificadora, y en la parte superior de la estructura dosificadora y la tolva, (Véase la Figura 3.18)

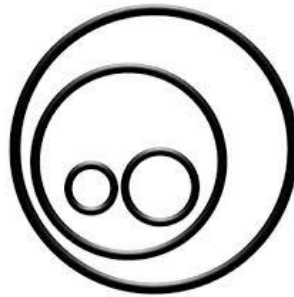


Figura 3.18: Retenedores o sellos neumáticos, [14]

- **Puntas dosificadoras.**

Las puntas dosificadoras proporcionan la cantidad exacta del producto hacia los moldes de confitería estas puntas estarán sujetas a un cilindro neumático compacto o de carrera corta, que será accionado rápida y precisamente con ayuda de una válvula distribuidora el paso del chocolate por las boquillas dosificadoras. Las puntas dosificadoras tienen un ángulo de 45 grados para que tengan un cierre hermético cuando se coloquen en las boquillas dosificadoras, además, la punta dosificadora ubicada en el medio del dosificador de chocolate tiene una longitud vástago de rosca más extenso que las otras puntas dosificadoras laterales, debido al acoplamiento con el cilindro de carrera corta. (Véase la Figura 3.19).

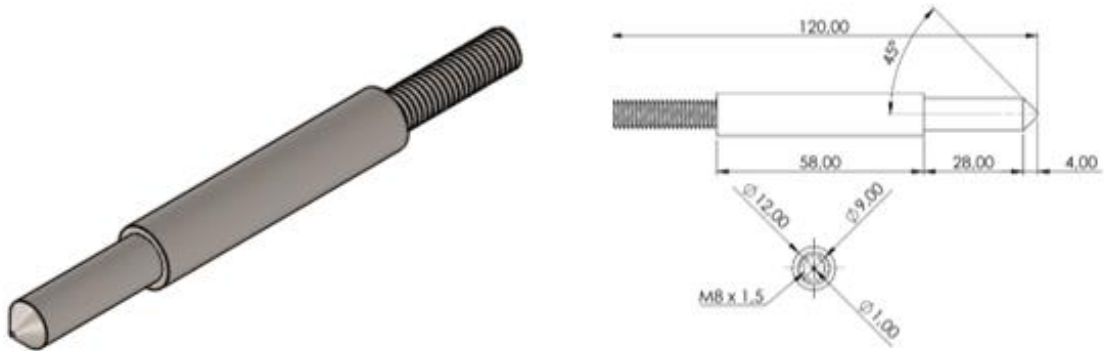


Figura 3.19: Diseño y dimensiones de la punta dosificadora. (Fuente Propia)

- **Estructura Base.**

La estructura base de la máquina dosificadora de chocolates está compuesta por un tubo cuadrado de acero inoxidable de 3 (cm) x 1.5 (mm) de espesor, además, de una placa metálica de 6 (mm), (véase la Figura 3.20) que conforma la base en donde se colocará la máquina dosificadora de chocolate y los demás elementos que compondrán a la máquina como: Las electroválvulas, los filtros de aire, los cilindros neumáticos y la caja general de automatización.

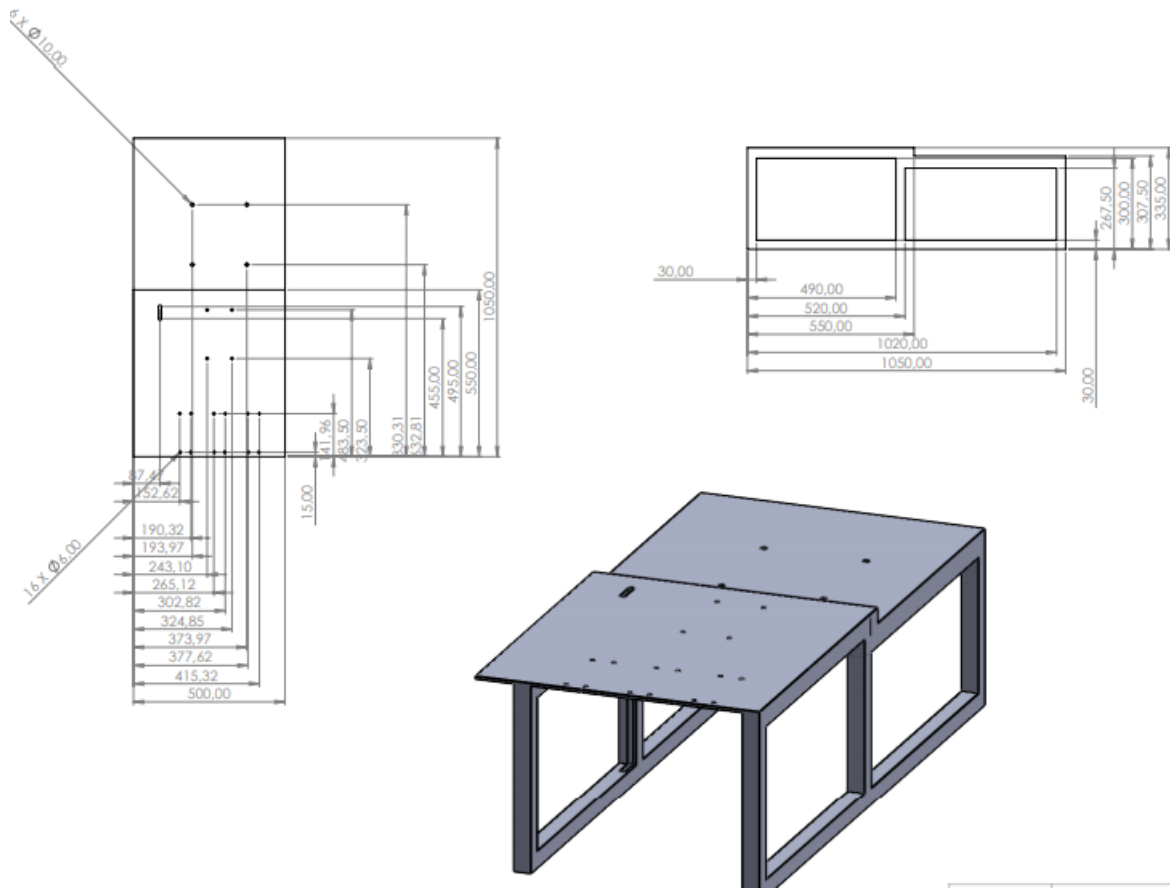
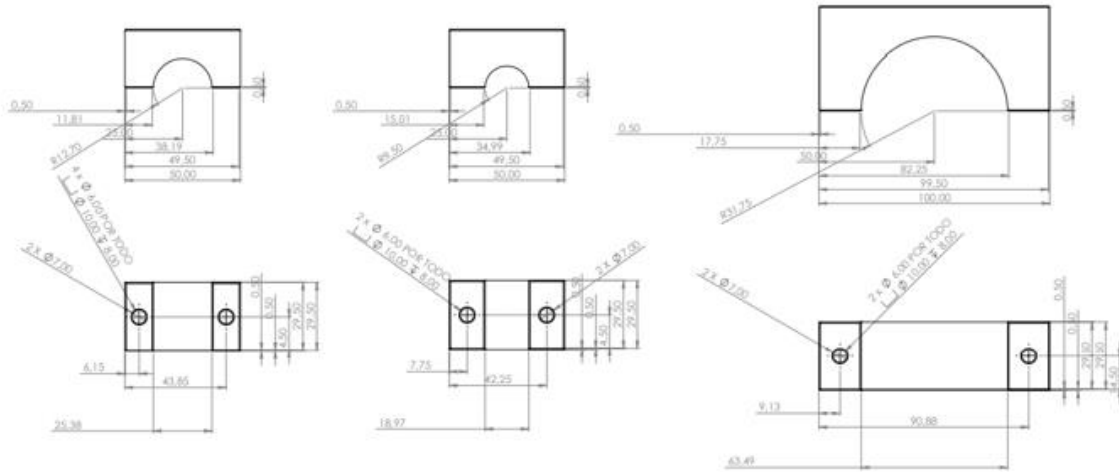


Figura 3.20: Estructura base de la máquina dosificadora. (Fuente Propia)

- **Guías de apoyo.**

Las guías de apoyo servirán para sostener firmemente al dosificador de chocolate, las cuales son de 3 diferentes tamaños (véase en la Figura 3.21) los cuales se ensamblarán en la base y en los distintos diámetros de la estructura dosificadora, estas guías se ajustarán con pernos M8 sujetos a la estructura base.

Guías superiores de apoyo



Guías inferiores de apoyo

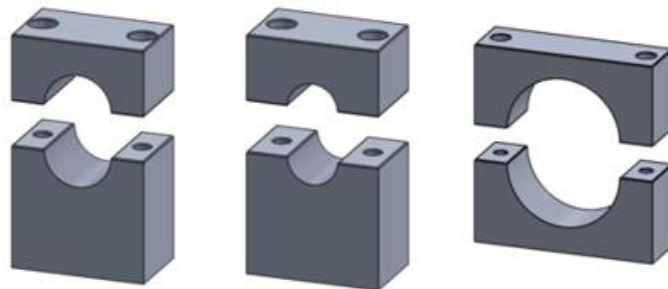
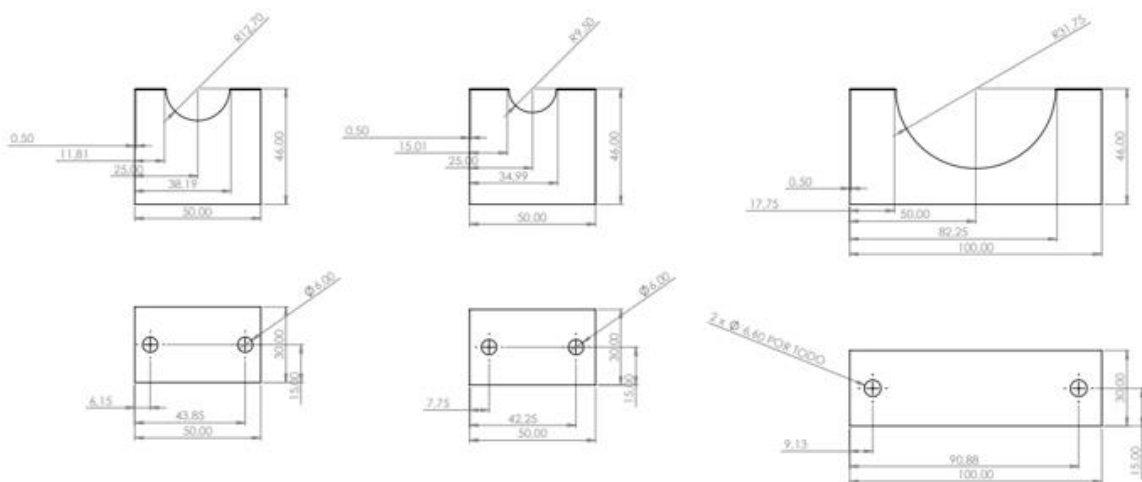


Figura 3.21: Diseño y dimensiones de las Guías de apoyo para la estructura dosificadora.
(Fuente Propia)

Para garantizar la seguridad e inocuidad de la materia prima durante el proceso de dosificación de chocolate se determina la normativa más relevante en la industria de alimentos de la comisión europea, antes de utilizar cualquier material que este en contacto con el producto alimenticio este debe estar expuesto a 2 clases de reglamentos: El reglamento RE 1935/2004 que está dirigido para materiales y objetos que entran en contacto con alimentos y el reglamento RE 10/2001, [15] para materiales y objetos plásticos que entran en contacto con alimentos, los materiales elegidos para este proyecto son determinados en base de estos dos reglamentos de la normativa alimenticia [16], debido a que la normativa técnica sanitaria de alimentos procesados del Ecuador no otorga la suficiente información para la selección de los materiales inertes en su sección Título II “Plantas procesadoras de alimentos” Cap. II: Equipos y utensilios Art 78 & 79 [17]

3.4 Diseño eléctrico del dosificador de chocolate.

- **Fuente de alimentación.**

Para determinar la fuente de voltaje correcta es necesario tomar en consideración la corriente y el voltaje de los distintos elementos electrónicos como: PLC, sensores, módulo de expansión, bobinas y relés.

A continuación, se observa los valores de los distintos elementos electrónicos que se emplearán para el funcionamiento de la máquina dosificadora en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Elementos electrónicos.

Dispositivo	Cantidad	Corriente nominal (mA)
PLC	1	100
Módulo de expansión	1	60
Bobinas	3	80
Relé de estado sólido	1	30
Sensor magnético	6	70
Sensor capacitivo	2	150

Fuente: Propia.

Para el dimensionamiento de la fuente de alimentación se toma en cuenta el 25% de la corriente que consumen los distintos elementos de la Tabla 3.2.

$$I_{fuente} = 1,25 \cdot \sum I_{nominal} \quad (8)$$

$$I_{fuente} = 1,25 \cdot (100 \cdot 10^{-3} + 60 \cdot 10^{-3} + 3(80 \cdot 10^{-3}) + 30 \cdot 10^{-3} + 6(70 \cdot 10^{-3}) + 2 \cdot 150 \cdot 10^{-3}) = 1.25 \text{ (A)}$$

Se determina una fuente de alimentación de 24 (V_{DC}) a 2.5 (A), como se puede ver en la Figura 3.22



Figura 3.22: Fuente de alimentación 24 (V_{DC}) / 2.5 (A), [18]

- **Fusible**

El fusible que se escogerá para la protección de la fuente de alimentación se determina con la siguiente ecuación.

$$I_{fusible} = 1.2 \cdot I_{fuente} \quad (9)$$

$$I_{fusible} = 1.2 \cdot 2.5 A = 3 (A)$$

- **Resistencia**

Para escoger la resistencia se toman en cuenta las dimensiones de la tolva donde será sumergida la resistencia para mantener al chocolate a una temperatura adecuada, a continuación, se observa la Tabla 3.3 con las temperaturas adecuadas para mantener fundido los tipos de chocolate. [19]

Tabla 3.3: Grados ideales para la fundición del chocolate.

Tipos	Temp. Fundido	Temp. Uso	Temp. Enfriado
Chocolate negro	50°	32°	29°
Chocolate con leche	45°	31°	27°
Chocolate blanco	40°	30°	26°

Fuente: directoalpalador.com. (2019, Mar 10). Directo al Paladar Cultura gastronómica.

Para determinar la transferencia de calor que emanará la resistencia, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{Q}{t} = K \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta X} \quad (10)$$

Donde:

Q/t= transferencia de calor (J/s) o (W)

K = conductividad térmica (W/m K)

A = Área de transferencia (m^2)

ΔT = Variación de temperatura ($^{\circ}K$)

ΔX = Longitud de la transferencia de calor (m)

El material de la funda es acero inoxidable 304/304L cuya conductividad térmica es de 16 ($W/m K$), y se toma en cuenta la temperatura de fundición del chocolate que oscila entre los 26 ($^{\circ}C$) y 50 ($^{\circ}C$) según la Tabla 3.3, el área de transferencia se toma en consideración las medidas de la tolva.

Entonces:

$$\frac{Q}{t} = 16 \left[\frac{W}{m \cdot ^{\circ}K} \right] \frac{2\pi(0,3m \cdot 0,2m) \cdot ((50 + 273) - (26 + 273))^{\circ}K}{0.2 m} = 723,82 (W)$$

Se escoge una resistencia calórica con tapón de acoplamiento en latón, forma de "U" con triple vuelta debido a su fácil instalación en la parte superior de la tolva para mantener al chocolate a la temperatura adecuada para su traslado en la dosificación. Véase la Figura 3.23.

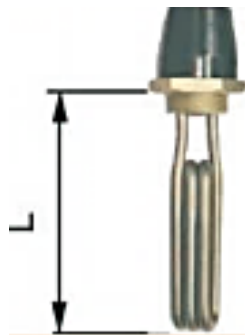


Figura 3.23: Resistencia calórica en forma de "U" con triple vuelta, [20]

Breaker

Este dispositivo de maniobra protege la alimentación general cuya tensión es de 127 (V_{AC}), para su respectivo cálculo se toma en consideración la corriente nominal que consumirá el dosificador de chocolate

Para el respectivo cálculo se toma en cuenta el consumo de potencia de la fuente de 24 (V_{DC}) con una corriente de 2.5 (A), el consumo de potencia de una resistencia que mantendrá el chocolate en estado líquido cuyo consumo es de 1000 (W) y se considera también el consumo de potencia de un control de temperatura que es de 10 (W).

A continuación, se calculan el consumo de potencia de los elementos empleados

$$P_{fuente} = V \cdot I \cdot fp \quad (11)$$

$$P = 24 \cdot 3.5 \cdot 0.9 = 84 (W)$$

$$P_{resistencia} = 1000 (W)$$

$$P_{total} = P_{fuente} + P_{resistencia} \quad (12)$$

$$P_{total} = 84 W + 1000 W = 1084 (W)$$

Una vez calculado el consumo de potencia de los dispositivos eléctricos, se determina la corriente que soportará el breaker, tomando en cuenta el factor de potencia de la línea y su tensión (fp=0,9; V=210 (V))

Entonces:

$$I_{sistema} = \frac{P_{total}}{V \cdot \cos\theta} \quad (13)$$

$$I_{sistema} = \frac{1084 W}{127 \cdot 0.9} = 10.94 (A)$$

Por lo tanto:

$$I_{breaker} = 1.25 \cdot I_{sistema} \quad (14)$$

$$I_{breaker} = 1.25 \cdot 10.94 \text{ A} = 13.68 \text{ (A)}$$

Con la corriente resultante se logra determina un breaker de 16 Amperios para la protección de la máquina dosificadora de chocolate.

- **Relé.**

Se utilizó un relé para activar las bobinas de las electroválvulas de los actuadores neumáticos en la máquina dosificadoras con la finalidad de proteger las salidas del controlador lógico programable, utilizando el principio del electromagnetismo para activar o interrumpir la conmutación, Véase la Figura 3.24.

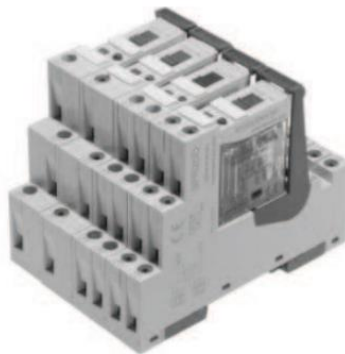


Figura 3.24:Relé electromecánico de 24 (V_{DC}), [21]

- **Relé en estado sólido.**

Este dispositivo permite activar la resistencia calórica tipo “U” ubicada en la tolva para mantener al chocolate en la temperatura adecuada para su dosificación, debido a su funcionamiento en altas corrientes.

A continuación, se puede visualizar (en la Figura 3.25) el circuito electrónico del que está compuesto el relé de estado sólido.

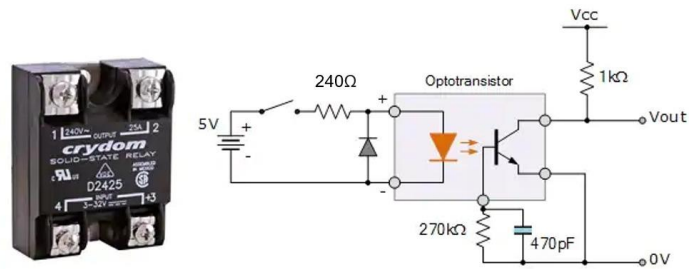


Figura 3.25: Relé en estado sólido y circuito interno, [21]

Componentes del Sistema neumático.

Para determinar el sistema neumático, se toma en consideración la función que los cilindros ejecutarán, además de los componentes mecánicos que ayudarán a cumplir su función específica.

Para el funcionamiento del dosificador de chocolate se eligió los cilindros de doble efecto por su funcionamiento de recibir el aire a presión en dos sentidos del cilindro, permitiendo un accionamiento lineal de avance y de retroceso. (Véase la Figura 3.26)



Figura 3.26: Cilindro de doble efecto, [22]

Velocidades de los cilindros neumáticos.

Se utilizó como referencia las velocidades de los cilindros neumáticos según el diámetro del émbolo o pistón, para estimar la velocidad de cada pistón en la simulación del HMI virtual, esto se puede visualizar en la Tabla 3.4.

Estos valores de velocidad se pueden ver afectados por la carga que se desee desplazar, como velocidades medias se puede tomar en consideración el valor del 70% de los valores indicados en la Tabla 3.4. [23]

Tabla 3.4: Diámetros y velocidades de los cilindros neumáticos

Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
10-12-16	2,6
20-25-32	2,6
40	2,5
50	2
63	1,5
80	1,1
100	0,9
125	0,7
160	0,6

Fuente: Guía neumática [23]

3.5 Selección de dispositivos neumáticos

- **Cilindro compacto o de carrera corta de doble efecto**

Se utilizará para el diseño un cilindro compacto para el área de dosificación debido a su tamaño pequeño y compacto, además, de contar con una reacción rápida al aplicar un

aire a presión, este cilindro servirá de apertura de dosificación a las boquillas dosificadoras regulando la salida del producto hacia los moldes de chocolate.

Cálculo del cilindro compacto

Para el respectivo cálculo del cilindro compacto se toma en consideración la presión con la que se trabajará la cual es 6 (bares) y se escoge un vástago de 12 (mm) por el diseño de las puntas de dosificación, luego se visualizó las aproximaciones de diámetros de la Tabla 3.1 y se escogió un diámetro de cilindro de 25 (mm), con los datos escogidos se calculó la fuerza ejercida para la selección del cilindro neumático.

$$F_r = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot p \cdot R \quad (15)$$

$$F_a = \frac{\pi}{4} (25mm)^2 \left(\frac{1m}{1000mm}\right)^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot 0.85$$

$$F_r = 250 (N)$$

Con la fuerza respectiva se selecciona un cilindro neumático de carrera corta ADVC/AEVC que soporta a 6 (bares) de presión una fuerza de avance de 295 (N) y una fuerza de retroceso de 247 (N). (Véase la Figura 3.27)



Figura 3.27: Cilindro de carrera corta ADVC/AEVC, [22]

A continuación, se puede observar la Tabla 3.5, con las características y propiedades del cilindro de carrera corta de doble efecto con detección de posiciones.

Tabla 3.5: Características y propiedades del cilindro compacto ADVC/AEVC.

Características	Propiedades
Carrera	25 (mm)
Diámetro del émbolo	32 (mm)
Amortiguación	Anillos y placas amortiguadoras
Posición de montaje	Indistinta
Forma de funcionamiento	Funcionamiento con presencia de aceite
Extremo del vástago	-
Detector de posición	Para sensores de proximidad
Presión de funcionamiento	0,6 a 10 (bares)
Fluido	Aire comprimido
Temperatura ambiente.	-20 a +80 (°C)
Conexión neumática	G 1/8

Fuente: Catálogo Festo (cilindro compacto ADVC/AEVC.)

Se puede visualizar más características técnicas del cilindro de carrera corta ADVC/AEVC y las características de diseño para SolidWorks, en el Anexo B

- **Cilindro redondo DSNU/ESNU**

Este cilindro neumático será empleado en el área de apertura que con ayuda de una biela abrirá y cerrará el paso de la presión de aire para enviar el producto fundido hacia el área de dosificación, además, de la biela que será adaptada para sujetarse al extremo del cilindro dosificador con una chaveta, el cilindro incorporará una base de movimiento axial con rodamientos, que permitirá el movimiento libre del cilindro mientras este aumenta su carrera.

Cálculo del cilindro redondo

Para el cálculo del cilindro redondo se toma en consideración el trabajo que se va a realizar, debido a que el cilindro tiene que proporcionar un giro de 45° se utiliza un cilindro con movimiento giratorio en una de sus puntas, se selecciona un cilindro redondo.

Se tomó en consideración la presión de 6 (bares) para el funcionamiento y fuerza de tracción que deberá ejercer para el movimiento de 45°, debido a la carrera necesaria de 150 a 200 (mm) por la colocación de este se escogió un diámetro de 20 (mm), por lo tanto, la Fuerza del cilindro generada es:

$$F_r = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot p \cdot R \quad (16)$$

$$F_a = \frac{\pi}{4} (20\text{mm})^2 \left(\frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}\right)^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 0.85$$

$$F_r = 160.22 \text{ (N)}$$

Con el valor de la fuerza resultante se seleccionó el cilindro redondo DSNU/ESNU de la familia Festo cuya fuerza de avance es 188.5 (N) y su fuerza en retroceso es 158.3 (N). (Véase la Figura 3.28)



Figura 3.28: Cilindro redondo de doble efecto DSNU/ESNU, [22]

A continuación, se puede observar las características técnicas del cilindro redondo DSNU/ESNU en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Características técnicas del cilindro redondo DSNU/ESNU.

Características	Propiedades
Carrera	1 a 320 (mm)
Diámetro del émbolo	20 (mm)
Amortiguación	Anillos y placas amortiguadoras
Posición de montaje	Fijación directa con accesorios
Forma de funcionamiento	Funcionamiento con presencia de aceite
Rosca del vástago	M8x1,25
Detector de posición	Para sensores de proximidad
Presión de funcionamiento	1 a 10 (bares)
Fluido	Aire comprimido
Temperatura ambiente.	-20 a +80 (°C)
Conexión neumática	G 1/8

Fuente: Catálogo Festo (cilindro redondo DSNU/ESNU)

Se puede visualizar más características técnicas del cilindro redondo DSNU/ESNU y las características de diseño para el dibujo técnico del cilindro y de sus accesorios en SolidWorks, en el Anexo B.

- **Cilindro normalizado DNCB**

Este es un cilindro de doble efecto y se encuentra bajo la norma de calidad ISO 15552, la función principal de este cilindro neumático es generar la presión de aire necesaria en el cilindro dosificador de la máquina dosificadora para que pueda transportar el chocolate

hacia las puntas y boquillas dosificadoras, además, se realizó el diseño de los accesorios y el cilindro neumático para la simulación de trabajo esto con ayuda de los datos técnicos proporcionados por Festo.

Cálculo del cilindro normalizado.

Como ya se determinó la fuerza requerida para transportar el émbolo del cilindro dosificador, en el diseño de este dio como resultado un valor de fuerza resultante $F_a = 1611.637 (N)$, por lo tanto:

$$F_r = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot p \cdot R \quad (17)$$

$$1611.637 = \frac{\pi}{4} (D)^2 \cdot 6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot 0.85$$

$$\frac{1611.637N \cdot 4}{6 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot 0.85\pi} = D^2$$

$$D = 0.063m \cdot \frac{1000mm}{1m}$$

$$D = 63.43 (mm)$$

Con el valor del diámetro se selecciona el cilindro normalizado DNCB de la familia Festo que presenta una fuerza de avance 1870 (N) y una fuerza de retroceso de 1682 (N). (Véase la Figura 3.29)



Figura 3.29: Cilindro normalizado DNCB según ISO 15552, [22]

A continuación, se presenta las características y propiedades básicas del cilindro empleado en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7: Características técnicas del cilindro normalizado.

Características	Propiedades
Carrera	320 (mm)
Diámetro del émbolo	63 (mm)
Amortiguación	Neumática regulable en ambos lados
Posición de montaje	Indistinta
Forma de funcionamiento	Funcionamiento con presencia de aceite
Rosca del vástago	M16X1,5
Detector de posición	Para sensores de proximidad
Presión de funcionamiento	1 a 12 (bares)
Fluido	Aire comprimido
Temperatura ambiente.	-20 a +80 (°C)
Conexión neumática	G ½

Fuente: Catálogo Festo (cilindro normalizado.)

Se puede visualizar más características técnicas del cilindro normalizado según ISO 15552 y del diseño en SolidWorks en el Anexo B.

- **Actuador giratorio**

El actuador giratorio (que se visualiza en la Figura 3.30) realiza la función de cierre y apertura en una válvula de 1" para el paso del chocolate cuando el sensor capacitivo capte que el producto se está terminando dentro de la tolva o cuando no se encuentre materia prima dentro de la misma. Se puede visualizar sus características técnicas y diseño de construcción en el Anexo B.

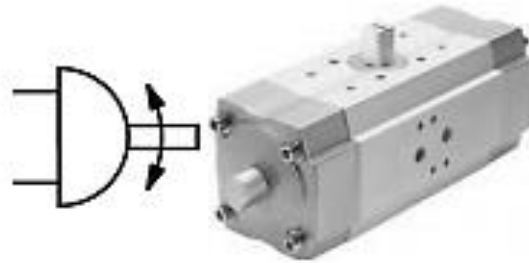


Figura 3.30: Actuador giratorio DFPB. [22]

- **Válvula de bola.**

La válvula de bola que se encuentra en la Figura 3.31 cumple la función de cierre y apertura del chocolate hacia la tolva de la máquina dosificadora, cuando el sensor capacitivo detecte que se esté terminando el producto de la tolva de dosificación. Se puede visualizar las características técnicas en el Anexo B.

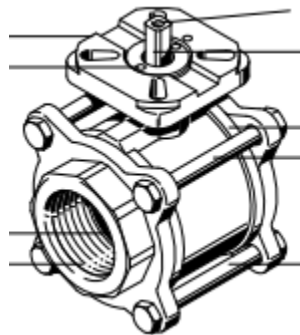


Figura 3.31: Válvula de bola VZBA (Festo), [22]

- **Unidad de mantenimiento**

Se emplea una unidad de mantenimiento para la purificación del aire comprimido a través de un filtro, regulando el flujo de presión a una presión constante con ayuda de un manómetro, añadiendo una fina capa de aceite al aire para una pequeña lubricación en los cilindros neumáticos de la máquina dosificadora de chocolate.

Las partes de la unidad de mantenimiento se pueden visualizar en la Figura 3.32.

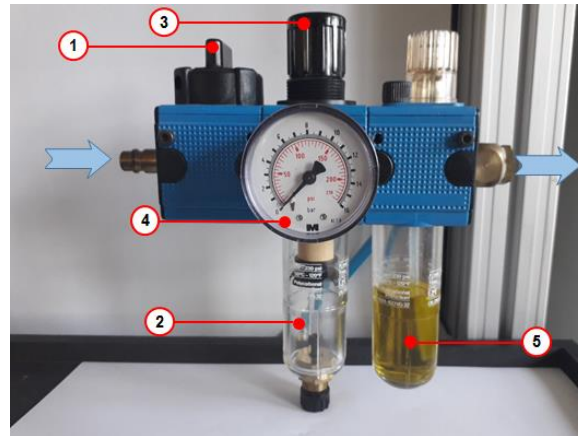


Figura 3.32: Partes de la unidad de mantenimiento, [22]

1. Aire comprimido On/Off
2. Filtro con separador de agua
3. Regulador de presión
4. Manómetro
5. Lubricador

- **Válvulas distribuidoras**

La válvula distribuida que se utilizó para controlar los cilindros neumáticos es la de cinco vías y dos posiciones, ya que es de gran utilidad para controlar cilindros de doble efecto, se puede observar que en la Figura 3.33.

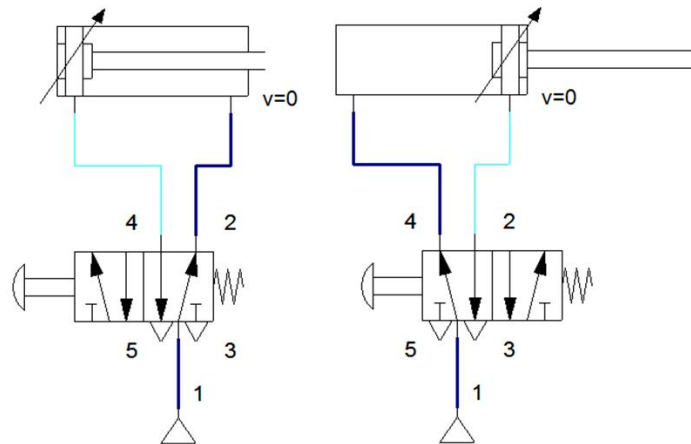


Figura 3.33: Funcionamiento de la válvula distribuidora 5/2, [23]

- **Racores.**

Se utilizaron racores para la interconexión de los elementos neumáticos de la máquina dosificadora como: Cilindros, válvulas, unidad de mantenimiento entre otros, los racores empleados fueron: Recto, tipo L y tipo T, estos racores fueron de utilidad para realizar la conexión y distribución de las mangueras hacia los cilindros neumáticos y las válvulas distribuidoras. (Véase la Figura 3.34)

Se puede visualizar las características Técnicas en el Anexo B.



Figura 3.34: Racores (varios tipos), [22]

- **Válvula estranguladora antirretorno.**

Se utiliza válvulas estranguladoras o antirretorno (Véase la Figura 3.35) para regular la velocidad del avance y del retroceso del émbolo de los cilindros neumáticos, a medida en que se vaya estrangulando el caudal del aire comprimido el cilindro neumático tiene un accionamiento más rápido o lento, esto es de gran utilidad para determinar la velocidad deseada con la que se pueda dosificar el chocolate, obteniendo un cierre más veloz en el área de dosificado, para evitar pérdidas de la materia prima.



Figura 3.35: Válvula de estrangulación, [22]

3.6 Secuencia de funcionamiento de los actuadores neumáticos.

Al activar la máquina dosificadora de chocolate los cilindros neumáticos cumplen con la siguiente secuencia:

$$B+C+ / A+B-C- / C+ / C- / C+ / C- / C+ / A-C- / B+C+$$

En esta secuencia se explica lo siguiente: Al encender la máquina dosificador el cilindro B y C se activan cerrando la estructura dosificadora para el llenado del chocolate en la tolva, luego de esto, al detectar una presencia el sensor capacitivo ubicado en la estructura base, da la orden de desactivar los cilindros B y C y activar el cilindro A para

comenzar con la dosificación respectiva, de acuerdo al número de dosificaciones ingresadas, el cilindro neumático C, se activará y desactivará, una vez terminado con el número de dosificaciones, el cilindro A se desactiva y los cilindros B y C se activan nuevamente para comenzar el ciclo nuevamente.

A continuación, se puede visualizar en la Figura 3.36 el diagrama de estados de los cilindros neumáticos de la máquina dosificadora.

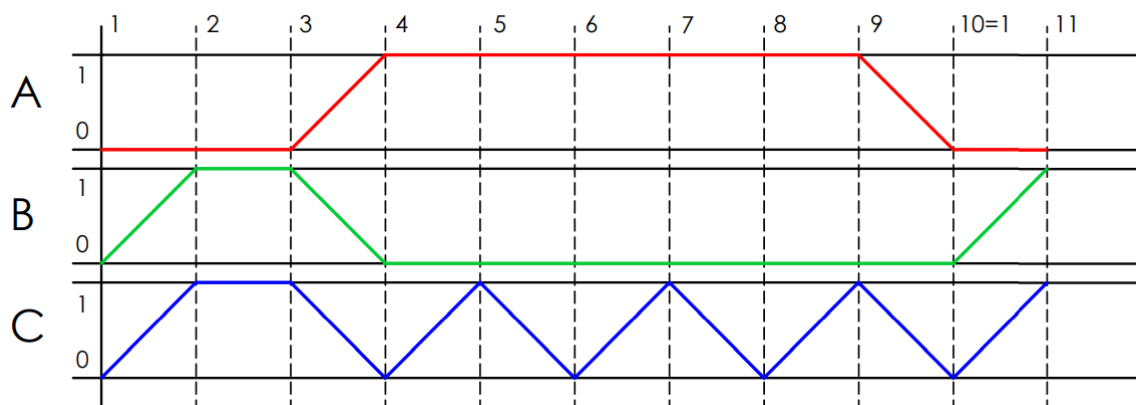


Figura 3.36: Secuencia de funcionamiento de los actuadores neumáticos. (Fuente Propia)

3.7 Dispositivos electrónicos.

- **Sensores.**

Para el control de la máquina dosificadora se determinó 3 tipos de sensores: Dos de proximidad y uno de temperatura, los cuales se describirán a continuación.

Sensor Magnético.

Se utilizaron sensores magnéticos o sensores de proximidad, para detectar la posición de los pistones dentro de los cilindros neumáticos, determinando y controlando el avance de la carrera, estos sensores fueron ubicados en las ranuras de la caja de los cilindros neumáticos de la máquina dosificadora como se visualiza en la Figura 3.37.

Estos sensores se encuentran ubicados en los 3 cilindros neumáticos de la máquina dosificadora.



Figura 3.37: Ubicación de sensores magnéticos, [22]

Lo sensores escogidos para el diseño son los SMT/SME8 para ranura en T, véase la Figura 3.38



Figura 3.38: Sensor SMT/SME8 (Festo), [22]

Se puede visualizar las características técnicas y las dimensiones de diseño en el Anexo B.

Sensor capacitivo.

Se escogió un sensor capacitivo CM30-16BPP-KC1, (Véase la Figura 3.39) para captar el nivel de llenado de la tolva dosificadora, cuando el chocolate penetre el campo eléctrico en las placas del sensor, varía su dieléctrico variando así su valor de capacitancia,

enviando una señal al controlador programable, para que realice la acción programada del llenado de la tolva de dosificación, este dispositivo es esencial para detectar la presencia de los moldes de confitería para el proceso de dosificación. Las características técnicas se pueden visualizar en el Anexo B.



Figura 3.39: Sensor capacitivo CM30-16BPP-KC1. [22]

Sensor de Temperatura.

Se utilizó un sensor de temperatura para controlar la potencia de la resistencia calórica que se encuentra en la tolva al almacenar el chocolate, manteniendo al chocolate a una temperatura de fundición para su traslado y su correspondiente dosificado

El sensor mide la temperatura del chocolate y activa o desactiva la resistencia instalada en la tapa de la tolva cuando la temperatura del chocolate no se encuentre en los rangos establecidos de la Tabla 3.3.

Se utiliza un transmisor de temperatura que provee una señal de 2 (V_{DC}) a 8 (V_{DC}) para un rango de trabajo de 20 (°C) a 60 (°C). (Véase la Figura 3.40)



Figura 3.40: Transmisor de temperatura tipo sonda, [20]

El transmisor seleccionado posee las siguientes características:

- Clase A
- RTD de 3 hilos
- Unión aislada
- Diámetro $\frac{1}{4}$.
- Clavija estándar macho

PLC

Para la selección correcta del PLC se determinó las entradas digitales, analógicas y salidas necesarias para la máquina dosificadora, debido a esto se escogió uno de los modelos de CPU que tiene la gama de PLC S7-1200.

Se escogió el PLC S7-1200 1214 DC/DC/DC, por contar con el número de entradas y salidas necesarias para la máquina dosificadora, debido a que la máquina dosificadora necesita 11 entradas digitales, 1 analógica y 5 salidas determinadas. (Véase la Figura 3.41)



Figura 3.41: PLC Siemens 1214 DC/DC/DC, [18]

Véase las demás características técnicas del PLC S7-1200 en el Anexo B

Las entradas y salidas del PLC S7-1200 (se muestran en la Figura 3.42.)

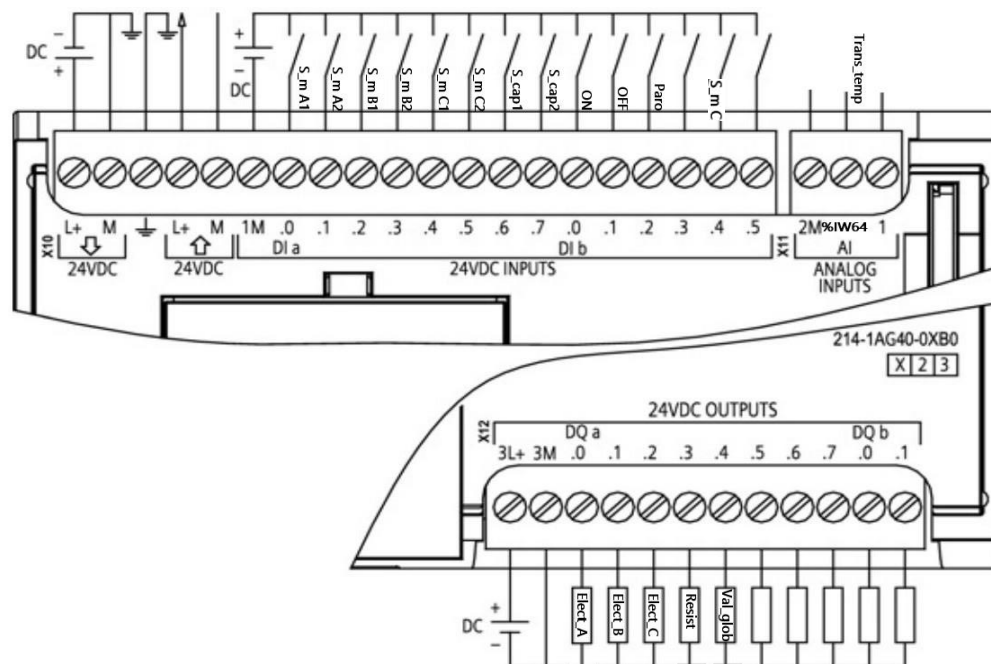


Figura 3.42: Entradas y salidas del PLC S7-1200. (Fuente Propia)

A continuación, se describe la utilidad de cada entrada y salida del PLC S7-1200

en la Tabla 3.8

Tabla 3.8: Descripción de entradas y salidas del PLC S7-1200

Entradas PLC	Contactos	Descripción
%IA 0.0	S_m A1	Sensor magnético_ Cilindro normalizado desactivado.
%IA 0.1	S_m A2	Sensor magnético_ Cilindro normalizado activado
%IA 0.2	S_m B1	Sensor magnético_ Cilindro redondo desactivado
%IA 0.3	S_m B2	Sensor magnético_ Cilindro redondo activado
%IA 0.4	S_m C1	Sensor magnético_ Cilindro compacto desactivado
%IA 0.5	S_m C2	Sensor magnético_ Cilindro compacto activado
%IA 0.6	S_cap1	Sensor capacitivo_ nivel de la tolva lleno
%IA 0.7	S_cap2	Sensor capacitivo_ nivel de la tolva menos de 1 (lt)
%IB 0.0	On	Encendido de la máquina dosificadora
%IB 0.1	Off	Apagado de la máquina dosificadora
%IB 0.2	Paro	Paro del proceso de dosificación
%IB 0.3	S_mC	Sensor capacitivo -detector de molde
%IW64	Trans_Temp	Censa la temperatura del chocolate, para activar una resistencia de calentamiento.
Salidas PLC	Bobinas	Descripción
%QA0.0	Electroválvula A	Electroválvula que activa el recorrido del cilindro normalizado.
%QA0.1	Electroválvula B	Electroválvula que activa el recorrido del cilindro redondo.
%QA0.2	Electroválvula C	Electroválvula que activa el recorrido del cilindro compacto.
%QA0.3	Resist	Activa un relé de estado sólido para la activación de una resistencia calórica.
%QA0.3	Val_globo	Activa la electroválvula para el cierre o apertura de la válvula de globo para el paso del chocolate.

Fuente: Propia

3.1 Algoritmo de control para el proceso de dosificación

A continuación, se puede visualizar en las figuras 3.43a y 3.43b los diagramas de procesos del dosificador de chocolate automático.

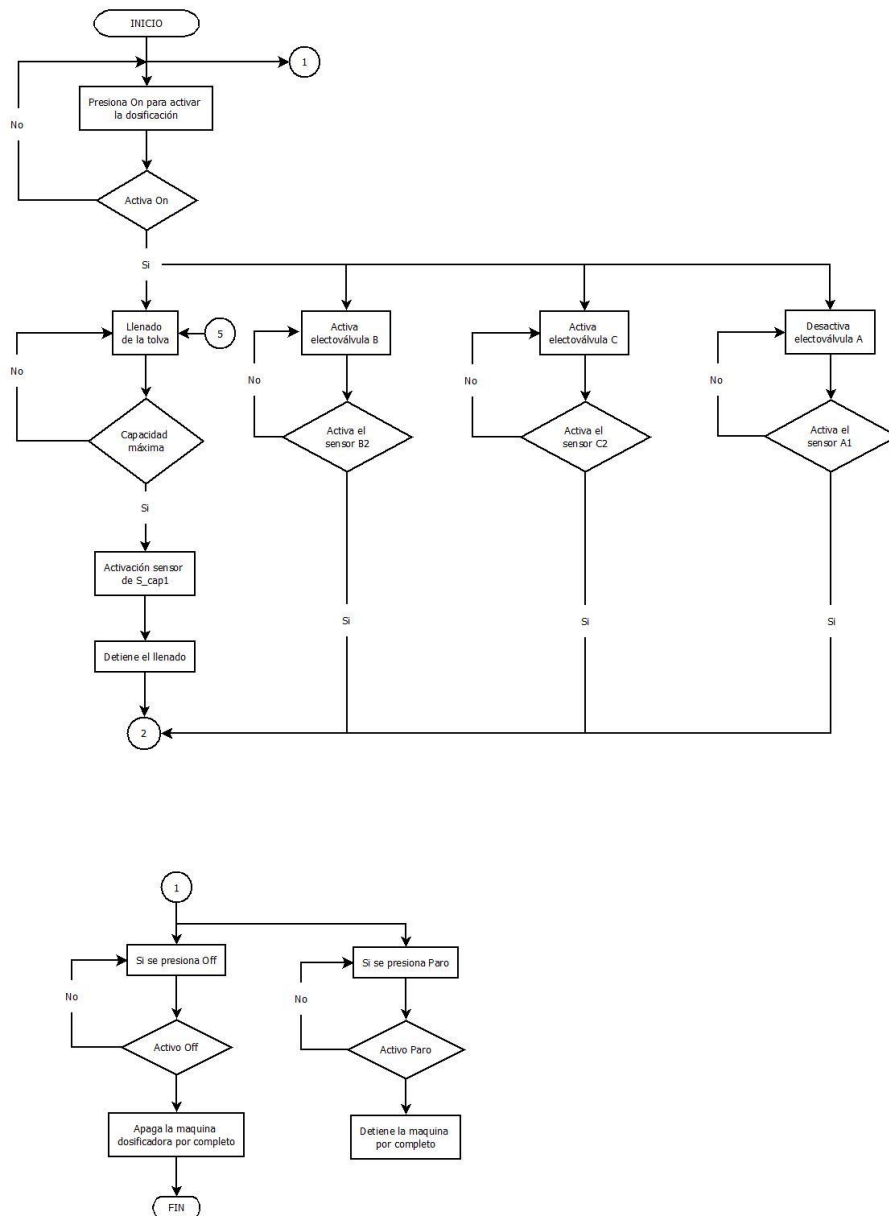


Figura 3.43a: Diagrama de procesos de la máquina dosificadora parte1. (Fuente Propia)

- **Programación**

Para realizar la programación en el TIA Portal es necesario configurar el área de trabajo esto se puede visualizar en el Anexo C. Una vez configurado el área de trabajo se comienza a realizar el algoritmo de control.

Para el algoritmo de control que comanda los elementos neumáticos y los sensores se escogió un lenguaje FBD por el cálculo de valores enteros, reales, normalizados y escalados para la simulación respectiva del HMI. [18]

A continuación, se puede visualizar algunas partes del algoritmo de control empleados para el funcionamiento del proceso de dosificación.

En el fragmento de programación (que se visualiza en la Figura 3.44) se realizó el respectivo cálculo del caudal con el que la tolva se llenará, por lo tanto, se tomó en consideración:

$$V_{total} = V_{cilindro} + V_{cono} \quad (18)$$

$$V_{total} = 14.137 + 2.6535 = 16.8 \text{ (lt)}$$

Se tomó como referencia la velocidad del caudal aproximado a 5 (m/s), esta velocidad será ingresada en el respectivo HMI debido a que no se toman valores de dimensionamiento de la velocidad de caudal con la que la bomba llevará el chocolate hacia la tolva dosificadora., y por último se considera el valor del diámetro de la tubería de 1”.

Datos:

$$V = 5(ms)$$

$$V_{tolva} = 16.8 \text{ (lt)} \approx 17 \text{ (lt)}$$

$$A = 2.54 \text{ (cm)}$$

Entonces:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (19)$$

$$A = \frac{\pi \cdot 0.0254^2}{4} = 0.506 \cdot 10^{-3} (m^2)$$

Por lo tanto:

$$Q = A \cdot v \quad (20)$$

Donde:

Q: flujo volumétrico

A: área de la tubería

v: velocidad

$$Q = 0.506 \cdot 10^{-3} m^2 \cdot 5 m/s = 2.53 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{m^3}{s} \cdot \frac{1000 L}{1 m^3}$$

$$Q = 2,53 \left(\frac{lt}{s} \right)$$

El caudal con el que se va a llenar la tolva es de $2,53 \left(\frac{lt}{s} \right)$, se debe recalcar que los valores dados como resultado son valores de un flujo volumétrico, para valores de volumen másico se debe tomar en consideración la densidad del chocolate cuyo valor es:

$$\delta_{choco} = 1300 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$m_{choco} = \delta_{choco} \cdot V_{tolva} \quad (21)$$

$$m_{choco} = 1300 \frac{Kg}{m^3} \cdot 16.8 \text{ litros} \cdot \frac{0.001 m^3}{1 \text{ litro}}$$

$$m_{choco} = 21.84 (Kg)$$

Una vez determinada la cantidad de masa que se encuentra en la tolva dosificadora, se determina el flujo másico con el que es llenado.

$$Q = \delta_{choco} \cdot v \cdot A \quad (22)$$

Donde:

Q: flujo volumétrico

δ_{choco} : densidad del chocolate

A: área de la tubería

v: velocidad

$$Q = 1300 \text{ Kg/m}^3 \cdot 3 \text{ m/s} \cdot \pi \cdot \frac{(2.54 \text{ cm})^2}{4} \cdot \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}\right)^2$$

$$Q = 1.97 \text{ (Kg/s)}$$

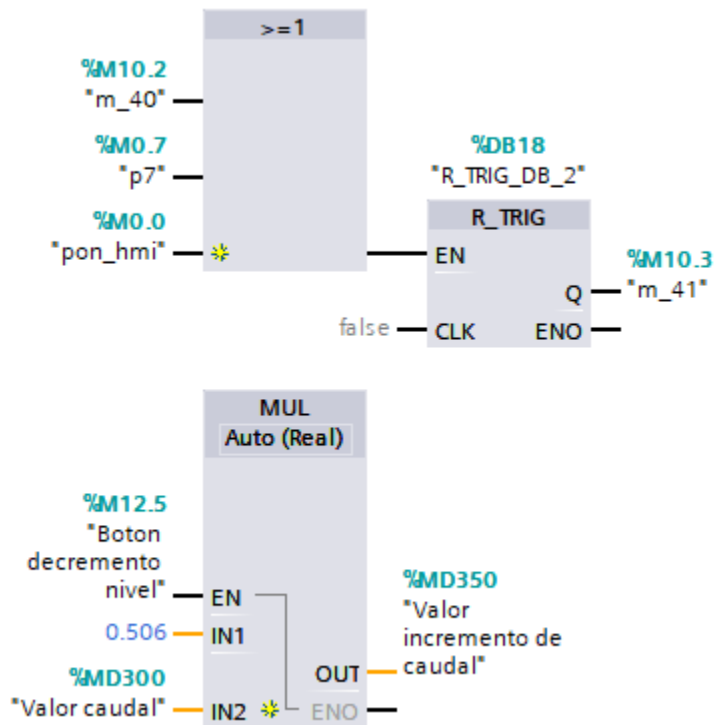


Figura 3.45: Programación de caudal de llenado de la tolva. (Fuente Propia)

En la siguiente programación se realizó la simulación del llenado de la tolva de la máquina dosificadora de chocolate, esto se lo logró con ayuda de las funciones lógicas ADD y SUB, para que se visualice un incremento de nivel cuando se accione la válvula de globo o para que se visualice un decremento cuando ya se haya dosificado el producto, los valores y el tiempo de llenado se tomó los valores de 0 (lt) y de 18 (lt) por los cálculos tomados del volumen de la tolva de dosificación. En donde 0 (lt) es cuando la tolva se encuentra vacía y 18 (lt) cuando esta se encuentra en su capacidad máxima. (véase la Figura 3.45)

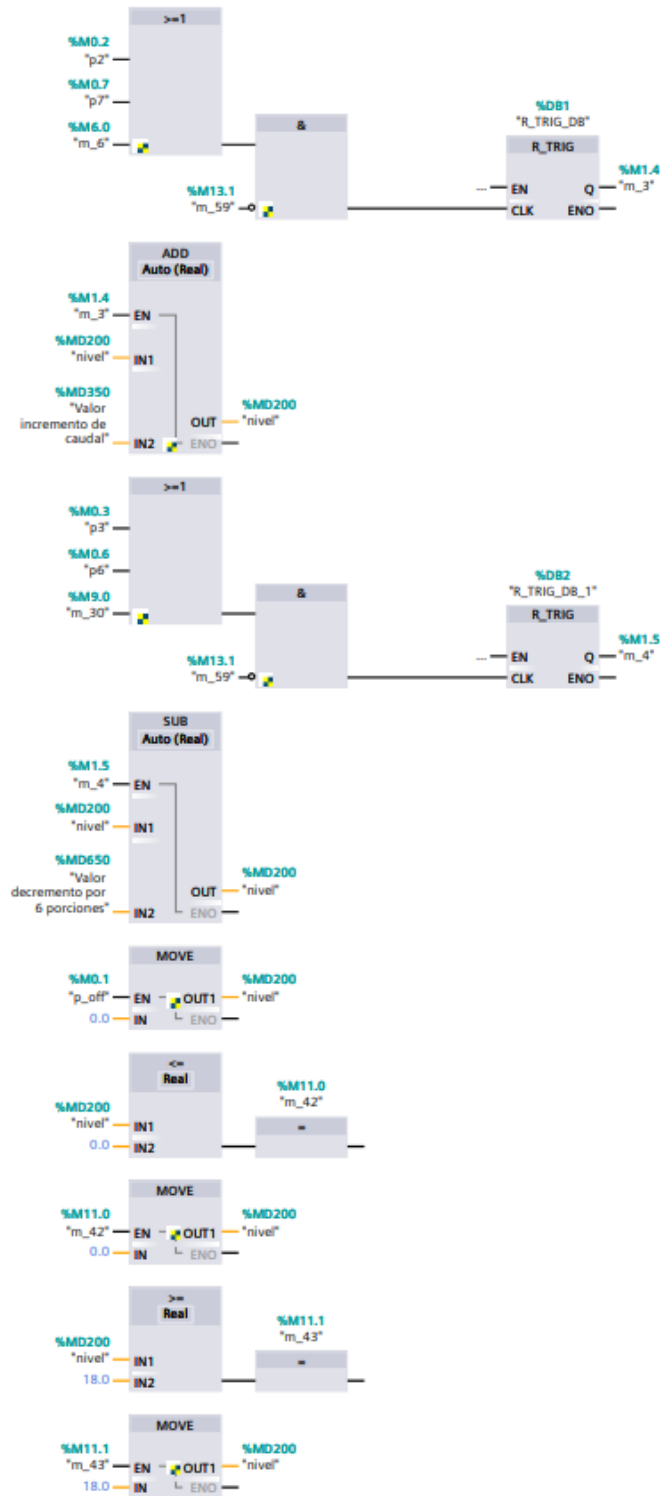


Figura 3.46: Programación de la simulación del llenado de la tolva dosificadora. (Fuente Propia)

En esta parte de programación que se visualiza en la Figura 3.46, se controla el nivel del producto dentro de la tolva dosificadora, activando los sensores de nivel, cuando el producto llega a su capacidad máxima activa el sensor ubicado en la tolva y cuando el producto está por terminarse se desactiva el segundo sensor. Esto produce que se envíe una señal al controlador para que este de apertura a la válvula de bola y se vuelva a llenar la tolva con el chocolate fundido.

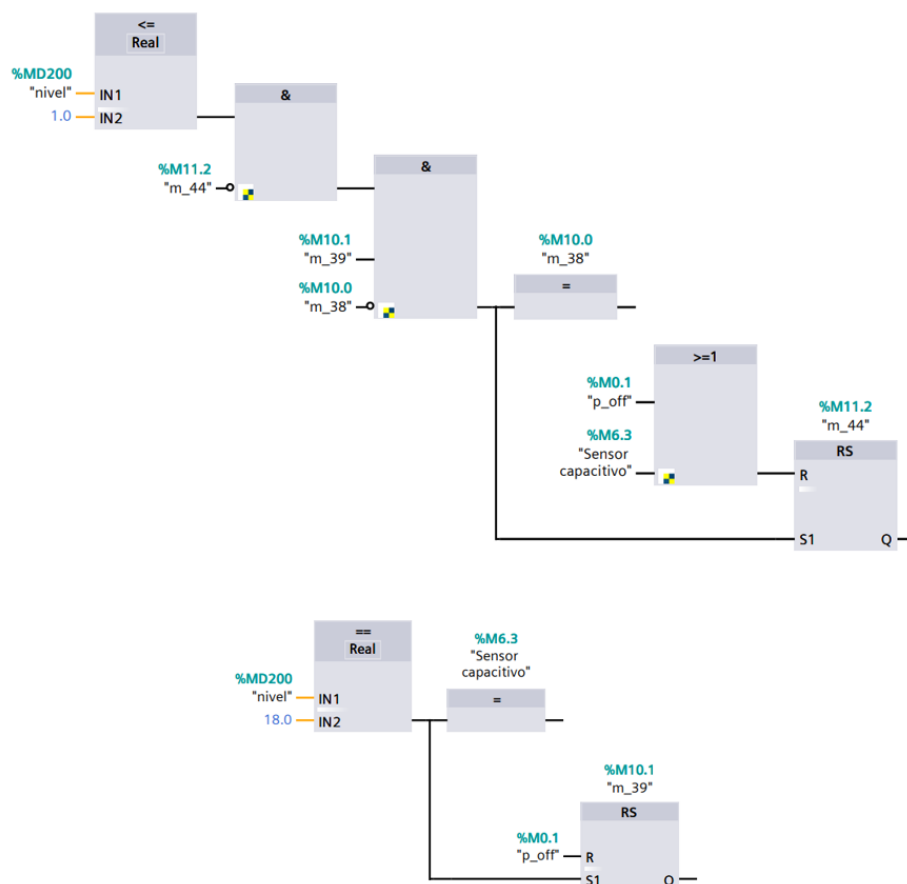


Figura 3.47: Activación de los sensores de nivel en la tolva dosificadora. (Fuente Propia)

Debido a las condiciones del transmisor de temperatura se acondicionó una señal de 2 a 8 (V_{DC}) para un rango de trabajo de 20 (°C) a 60 (°C), temperatura suficiente para el fundido del chocolate dependiendo de la composición de este, Véase en la Tabla 3.3.

Como en las características del PLC se pudo evidenciar las entradas analógicas integradas en el PLC S7-1200, este posee 2 entradas analógicas integradas de voltaje con un rango de 0 a 10 (V_{DC}), con una resolución de 10 bits y un rango total de 0 a 27648, debido a la resolución con la que interactúa estas entradas analógicas se debe realizar una conversión utilizando bloques especiales para la misma. Por lo tanto, se realiza una regla de tres con estos datos.

Señal en bits para 2V:

$$\begin{array}{ccc} 10V & & 27648 \\ & \diagdown & / \\ & & \\ & / & \diagdown \\ 2V & & X_1 \end{array}$$

$$X_1 = \frac{2V \times 27648}{10V} = 5529.6$$

Señal en bit para 8V:

$$\begin{array}{ccc} 10V & & 27648 \\ & \diagdown & / \\ & & \\ & / & \diagdown \\ 8V & & X_2 \end{array}$$

$$X_2 = \frac{8V \times 27648}{10V} = 22118.4$$

Los valores determinados de X1 y X2 corresponden a los valores en unidades de procesamiento máx. y min y son cargados a un bloque de normalización especial debido al acondicionamiento de transmisor de temperatura, otorgando a su salida una variable analógica normalizada, los valores de salida son cargados en un bloque especial de escalamiento, en donde se colocan los valores de rango máx. y min de acondicionamiento, al ingresar estos valores de temperatura al bloque especial entrega en su salida el valor con la que el transmisor de temperatura estará interactuando. (Véase la Figura 3.47)

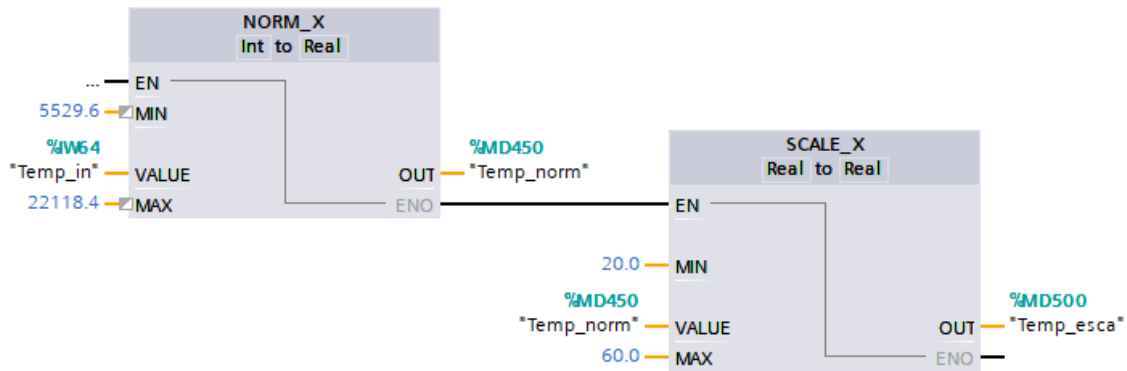


Figura 3.48: Acondicionamiento del transmisor de temperatura. (Fuente Propia)

En el fragmento de programación que muestra la Figura 3.48, se desarrolló el cálculo de las porciones y el decremento de estas hacia el chocolate dentro de la tolva, los datos ingresados son: Volumen de porción, el número de filas y de columnas; estos valores deben ser ingresado al HMI virtual antes de proceder con la activación de la máquina.

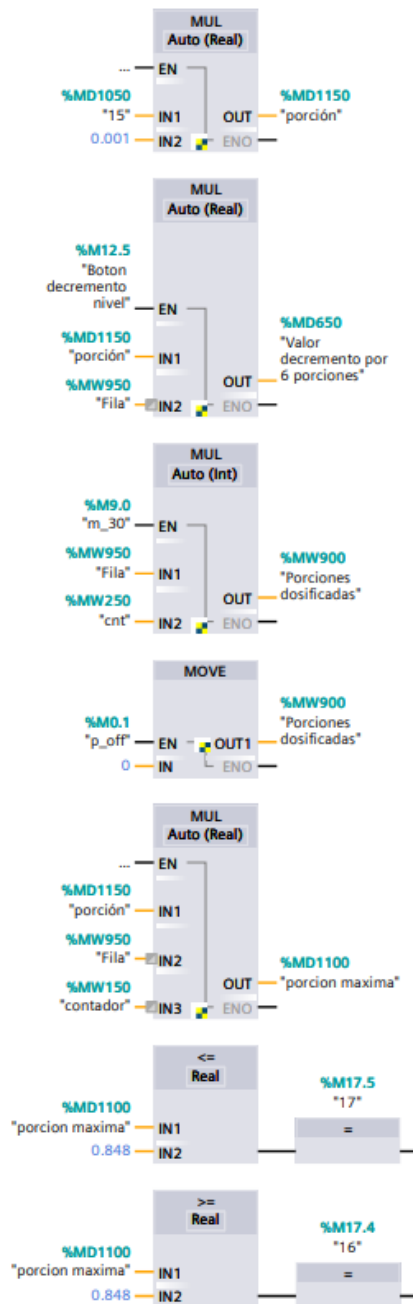


Figura 3.49: Datos de ingreso del volumen del molde por unidad y el número de filas y columnas del molde. (Fuente Propia)

La programación de los cilindros neumáticos y su activación se puede visualizar en el Anexo D, con la programación completa de la máquina dosificadora de chocolate.

A continuación, se visualiza el diseño de los 3 HMI virtuales del dosificador de chocolate automático.

En la Figura 3.49 se visualiza el HMI de inicio del programa, en donde se ingresan los datos del volumen del chocolate por unidad, el número y filas del molde de confitería, la temperatura a la que se debe mantener el chocolate y la velocidad del caudal para el llenado del chocolate dentro de la tolva.



Figura 3.50: HMI Inicio del programa, eh ingreso de datos. (Fuente Propia)

En el HMI virtual de la figura 3.50, se puede visualizar el control y el accionamiento de los cilindros neumáticos, sensores magnéticos y capacitivos.

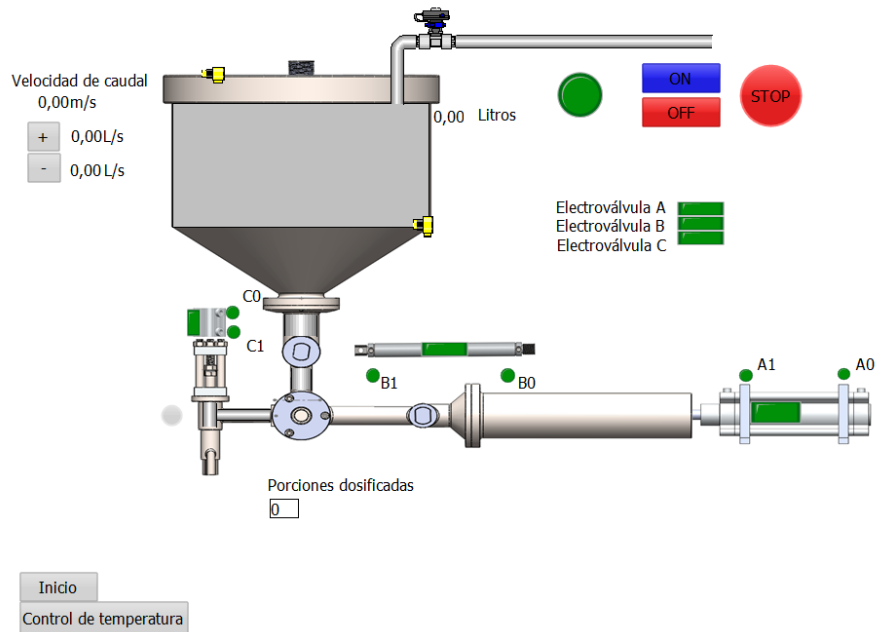


Figura 3.51: HMI Control y automatización de la dosificación del chocolate. (Fuente Propia)

En el HMI virtual de la Figura 3.51 se puede visualizar el control de la temperatura ingresada mediante un *Set_point* con la temperatura deseada.

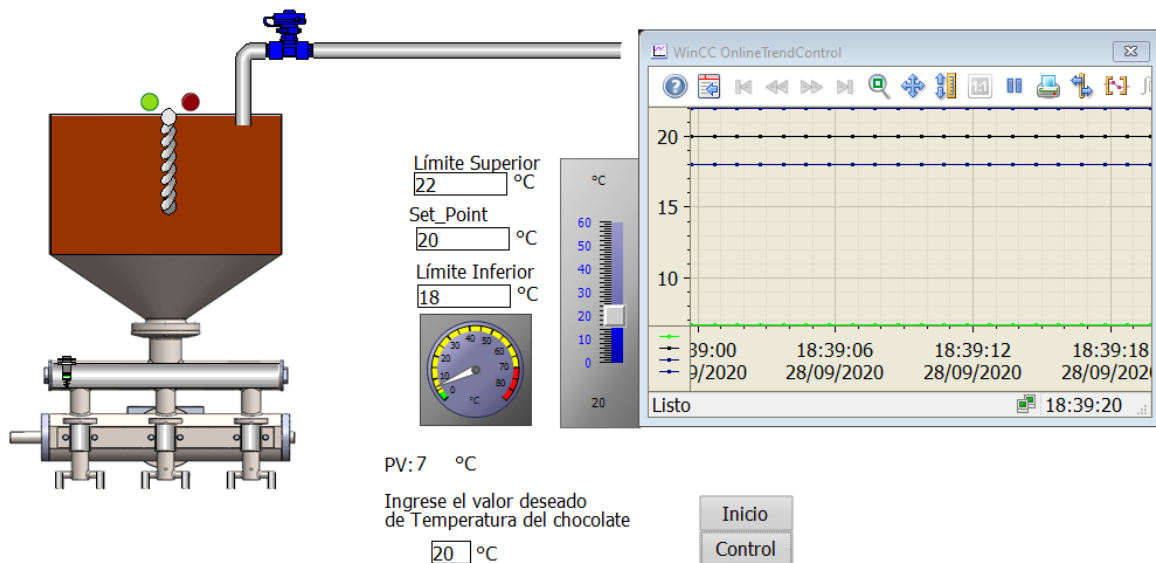


Figura 3.52: HMI Control de temperatura. (Fuente Propia)

Nota: Debido a que la simulación se realizará en un PLC virtual se utilizaron marcas para los valores de entradas y salidas del PLC, para que no existan errores de compilación en la simulación *runtime* del HMI virtual.

3.2 Manual de construcción de la máquina

El manual de construcción de la máquina dosificadora se puede visualizar en el Anexo E.

4. Conclusiones y recomendaciones.

4.1 Conclusiones.

- Dependiendo del tipo de chocolates se determina la temperatura para la fundición de este, debido a los diferentes tipos de elementos que componen al chocolate, las diferencias de temperatura se observan en los tres tipos de chocolate: Chocolate con leche, chocolate negro y chocolate blanco.
- Debido al distinto recorrido de carrera de los cilindros neumáticos utilizados para la máquina dosificadora, se emplearon sensores magnéticos para definir su carrera según su función determinada.
- Para obtener un chocolate fundido y mantenerlo semilíquido se debe mantenerlo entre 35°C a 60 °C y en constante movimiento, debido a esto la dosificación debe ser inmediatamente, después de haber llenado la tolva con su contenido.
- Para el diseño del dosificador se debió tomar en cuenta los tipos de materiales según su grado alimenticio con ayuda de los reglamentos de la comisión europea UE RE10 y RE1935, con la finalidad de no contaminar el chocolate a través de su recorrido hasta su dosificación final, debido a que la normativa técnica sanitaria de

alimentos procesados del Ecuador no otorga la suficiente información para la selección de los materiales inertes

- Para el correcto dimensionamiento del dispositivo de protección se tomó en cuenta la corriente nominal que será consumida por la máquina dosificadora para determinar el consumo de potencia total de todos los elementos que la componen, para finalmente obtener la corriente que soportará el breaker en este caso 13.68 (A), debido a esto se optó por elegir un breaker de 16 (A) para la protección de la máquina.
- Debido a que el transmisor de temperatura debía interactuar con el presente proyecto fue necesario regular la variación del transmisor a través del PLC virtual del software TIA portal.
- Fue necesario utilizar fórmulas y hojas técnicas para la respectiva selección de los cilindros neumáticos, ya que con ayuda de variables como son: la presión, el diámetro del émbolo o su funcionalidad, dieron como resultado: la fuerza de empuje del material, el largo de su carrera y el ensamble adecuado según su diseño y construcción.
- Debido a que se necesitó una visualización del llenado de la tolva de dosificación se utilizaron bloques funciones aritméticas de suma y resta, para el incremento y el decremento del producto simulando a un llenado constante dependiendo de los datos ingresados en el HMI virtual.
- Para la visualización de la interacción de los elementos mecánicos se utilizó el software SolidWorks, debido a la necesidad de simular el funcionamiento de la máquina dosificadora con su entorno.

- La elaboración del manual de construcción permite una mejor comprensión de la construcción y funcionamiento de la máquina dosificadora de chocolate, y para el ensamble correspondiente de cada elemento y pieza en caso de ser implementada.

4.2 Recomendaciones

- Analizar los diferentes procesos de dosificación para determinar el tipo y el diseño específico, según las cualidades con la que se deseen construir, esto con la finalidad de tener una visión a lo que se desee realizar en el dosificador de chocolate.
- Para controlar la velocidad de accionamiento de los cilindros neumáticos se recomienda utilizar válvulas de estrangulamiento para disminuir el caudal de aire comprimido, logrando la reducción de la velocidad de los cilindros neumáticos.
- Es necesario emplear retenedores y papel de fibra, para sellar la unión de los componentes mecánicos para que no existan fugas del producto en las uniones de ensamblaje de las piezas mecánicas.
- Diseñar un controlador ON/ OFF para mantener controlada la temperatura deseada del chocolate fundido para su correcta dosificación, controlando así los valores de temperatura ingresados por la variable del proceso.
- La visualización del HMI virtual no debe ser compleja para que el operario tenga una interacción simple con la máquina de dosificación, colocar datos o botones adicionales en la visualización del HMI virtual, puede ocasionar problemas en el manejo de la máquina dosificadora.
- Se recomienda el uso del manual de construcción de la máquina para determinar el posicionamiento de cada uno de los elementos mecánicos y eléctricos en el ensamblaje cuando se requiriera implementarlo.

- Debido a que los relés tienen un desgaste por sus componentes mecánicos, no pueden conmutar altos amperajes porque deterioraría sus tiempos de contacto, es recomendable utilizarlo para manejar pequeñas potencias como, por ejemplo, la activación de las electroválvulas de la máquina dosificadora.

5. Referencias

- [1] Caumas.org. (2011, Dic 06). Historia del chocolate. [Online]. Available: <https://caumas.org/wp-content/uploads/2015/03/09-el-chocolate1.pdf>.
- [2] g. mcr.es. (2016, Jul 10). La dosificación industrial. [Online]. Available: <https://www.mcr.es/que-es-la-dosificacion-industrial/>.
- [3] dosifiller.com. (2020, Mar 04). dosiFILLER. [Online]. Available: <http://dosifiller.com/dosificadora-volumetrica/>.
- [4] Vargas Cumbal, "Automatización de una máquina dosificadora de líquidos GRONINGER DFV-6001," Ibarra: Universidad del Norte, 2013
- [5] chocolatesnestle.es. (2020, Ene 05). Fabricación y Curiosidades del Chocolate. [Online]. Available: <https://www.chocolatesnestle.es/fabricacioncuriosidades/fabricacion-chocolate>.
- [6] A. S. Nicolás, "Neumática Práctica," España: Cimapress, 2017.
- [7] J. Chaur Bernal, "Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa," Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, 2005.
- [8] j. Hirschtick, SolidWorks 2019, Massachusetts: SolidWorks Corp, 2018.
- [9] Siemens, TIA Portal V15, Alemania: Siemens Corp, 2018.
- [10] A. I. a. S. Institute. (2020, Feb 08). Clasificación de los aceros inoxidables según NORMA AISI. [Online]. Available: https://static.websguru.com.ar/var/m_6/65/65e/100190/1374415-clasificacionaceros.pdf.
- [11] alacermas.com. (2020, May 10). Aluminio 6061. [Online]. Available: [https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6061_aluminio\(1\).pdf](https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_6061_aluminio(1).pdf).

- [12] acerosindustriales.net. (2019, Oct 15). Plásticos industriales. [Online]. Available: <https://www.acerosindustrialeshgb.net/plasticos-industriales>.
- [13] C. Vidal, "Diseño Mecánico con SolidWorks," Madrid: RA_MA S.A, 2015.
- [14] o-ring.com.ar. (2010, Feb 05). Argensold. [Online]. Available: <https://www.oring.com.ar/fichastecnicas/Ficha%20T%C3%A9cnica%20Retenes%20de%20Viton.pdf>.
- [15] eur-lex.europa.eu. (2011, Ene 14). boe.es. [Online]. Available: <https://www.boe.es/doue/2011/012/L00001-00089.pdf>.
- [16] boe.es/eur-lex.europa.eu. (2004, Oct 27). boe.es. [Online]. Available: <https://www.boe.es/doue/2004/338/L00004-00017.pdf>.
- [17] N. T. p. A. Procesados, (2017, May 11). Competencias.gob.ec. [Online]. Available: <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/06NOR2016-RESOLUCION03-1.pdf>.
- [18] J. Á. & A. J. G. M. T. P. Salazar, TIA PORTAL. Aplicaciones de PLC, Medellín: Instituto Tecnológico Metropolitano, 2017.
- [19] directoalpaladar.com. (2019, Mar 10). Directo al Paladar Cultura gastronómica. [Online]. Available: <https://www.directoalpaladar.com/culturagastronomica/consejos-para-templar-el-chocolatecorrectamente#:~:text=1%2D%20Fundir%20el%20chocolate%20a,que%20podr%C3%ADan%20arruinar%20nuestro%20trabajo>. [Último acceso: 29 Agosto 2020].
- [20] Y. Cengel, Transferencia de calor y masa, México: Interamericacna, 2016.
- [21] arrow.com. (2020, Ago 11). Relés de estado sólido y relés electromecánicos, Arrow electronics. [Online]. Available: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/crydom-solid-state-relays-vs-electromechanical-relays>.

- [22] festo.com. (2020, Feb 21). FESTO. [Online]. Available: https://www.festo.com/cat/es_es/products. [Último acceso: 02 Agosto 2020].
- [23] V. H. Bernal. (2010, Ago 12). Guía neumática. [Online]. Available: <http://m.automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/GUIA%20NEUMATICA%205.pdf>. [Último acceso: 10 agosto 2020].
- [24] acrison.com. (2020, Abr 05). Acrison. [Online]. Available: <https://acrison.com/es/linea-de-productos/dosificadores-volumetricos/>.

6. ANEXOS

Anexo A. Tabla para diseño de chaveteros en ejes y bocines.

Anexo B. Catálogos de cilindros neumáticos, racores, válvulas, electroválvulas, PLC y sensores.

Anexo C. Pasos para la configuración de TIA Portal.

Anexo D. Algoritmo de control del dosificador de chocolate.

Anexo E. Manual de construcción de la máquina dosificadora.