



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA SEMIAUTOMÁTICA  
DE CHOCOLATES Y TRUFAS POR PESO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieras en Mecatrónica

**AUTORES:** INES LIZBETH ALMACHI MURILLO  
MELANNY LIZBETH UNAPUCHA RACINES

**TUTOR:** FABIO EDUARDO OBANDO HERRERA

**Quito – Ecuador**

**2023**

## I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, Ines Lizbeth Almachi Murillo con documento de identificación N° 1722934153 y Melanny Lizbeth Unapucha Racines con documento de identificación N° 1753510567; manifestamos que:

Somos las autoras y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Ines Lizbeth Almachi Murillo  
1722934153



---

Melanny Lizbeth Unapucha Racines  
1753510567

## II. CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotras, Ines Lizbeth Almachi Murillo con documento de identificación N° 1722934153 y Melanny Lizbeth Unapucha Racines con documento de identificación N° 1753510567, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras de la Propuesta tecnológica: “Diseño de una Máquina Dosificadora Semiautomática de Chocolates y Trufas por Peso”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Ines Lizbeth Almachi Murillo  
1722934153



---

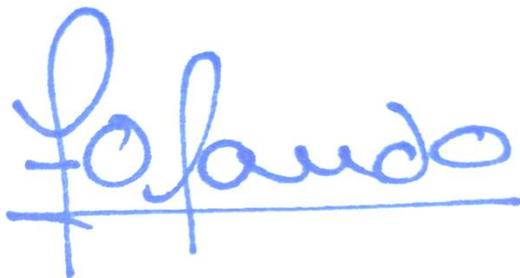
Melanny Lizbeth Unapucha Racines  
1753510567

### III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fabio Eduardo Obando Herrera con documento de identificación N° 1707982169, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA SEMIAUTOMÁTICA DE CHOCOLATES Y TRUFAS POR PESO, realizado por Ines Lizbeth Almachi Murillo con documento de identificación N° 1722934153 y Melanny Lizbeth Unapucha Racines con documento de identificación N° 175351056-, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera, MSc  
1707982169

#### **IV. DEDICATORIA**

A toda mi familia dedico este trabajo de titulación, especialmente, a mis padres, que siempre me acompañaron durante mis días y noches difíciles de mis horas de estudio, me apoyaron y estuvieron junto a mí.

(Unapucha M.)

Con profundo cariño y gratitud, dedico el resultado de este trabajo a toda mi amada familia, en especial a mis padres, mi hermano y hermana. Su apoyo incondicional en los momentos de alegría y dificultad ha sido fundamental para llegar hasta aquí. Han sido mis guías, enseñándome la valentía, los valores, la perseverancia y el empeño que me han forjado como persona. Todo lo han entregado con un amor inmenso y sin esperar nada a cambio.

(Almachi I.)

## **V. AGRADECIMIENTO**

A mis padres agradezco todo su apoyo y confianza puesta en mí, para cursar esta carrera, fueron un pilar importante para culminar esta maravillosa etapa de mi vida.

(Unapucha M.)

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría necesaria de tener en la vida y permitir culminar mis estudios siendo una profesional. Por otro lado, a mi familia que me han dado la oportunidad de poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Además, agradezco a mis padres por darme esa fortaleza de avanzar cada día en estos momentos de dificultad y a la vez en lo económico sobre todo el amor incondicional que tengo hacia ellos.

A todos aquellos amigos/as de la universidad y colegio que con su cariño y apoyo incondicional me han impulsado cada día a perseguir mis metas y sueños sin importar la dificultad que atraviere.

A lo largo de mi trayectoria universitaria, he tenido el privilegio de contar con la guía y el apoyo de varios docentes, a quienes deseo expresar mi profundo agradecimiento. Quiero destacar especialmente la labor de los profesores de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica, quienes generosamente han compartido sus conocimientos conmigo.

(Almachi I.)

## VI. ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
II.	CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	iii
III.	CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iv
IV.	DEDICATORIA .....	v
V.	AGRADECIMIENTO .....	vi
VI.	ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
	Índice de Figuras .....	xiii
	Índice de Tablas .....	xv
	Nomenclatura .....	xvii
	RESUMEN .....	xxi
	ABSTRACT .....	xxii
	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
	PROBLEMA DE ESTUDIO .....	1
	JUSTIFICACIÓN .....	1
	GRUPO OBJETIVO .....	2
	OBJETIVOS .....	2
	OBJETIVO GENERAL .....	2
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
	CAPÍTULO I .....	3
	MARCO TEÓRICO .....	3
	1.1 ¿Qué es la maquina dosificadora? .....	3
	1.1.1 Tipos de dosificación de alimentos .....	3

1.2	Sistemas de dosificadoras .....	4
1.2.1	Tipos de dosificadoras .....	4
1.3	¿Qué es una tolva?.....	6
1.3.1	Funcionamiento de la tolva.....	6
1.3.2	Medidas y capacidades de las tolvas para sólidos .....	7
1.3.3	Sistema Piñón Cremallera .....	7
1.4	Materiales de construcción .....	7
1.4.1	Acero Inoxidable .....	7
1.4.2	Tubería Cuadrada Acero Inoxidable 304.....	8
1.4.3	Estructuras Metálicas.....	9
1.4.4	Polietileno-PE.....	9
1.5	Elementos de control eléctrico industrial .....	10
1.5.1	Motorreductor .....	10
1.5.2	¿Qué es el Motor paso a paso? .....	10
1.5.3	Tipos de sensores.....	11
1.6	Sistemas de control PLC .....	12
1.6.1	PLC Siemens S7-300.....	13
1.6.2	Funcionamiento del PLC S7 300.....	13
1.7	Interfaz humano-Maquina (HMI).....	14
1.8	Sistemas de bandas transportadoras .....	14
1.8.1	Tipos de bandas trasportadoras.....	15
1.9	Sistema de diseño por CAD/CAM/CAE .....	15
1.9.1	Programa SolidWorks.....	16
1.10	Normativas para la máquina dosificadora de chocolates.....	16
1.10.1	La Norma INEN RTE 131 .....	16
1.10.2	La Norma INEN RTE 131 .....	16

CAPÍTULO II.....	18
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS.....	18
2.1    Planteamiento de Alternativa.....	18
2.1.1    Alternativa 1: Dosificación con un sistema de vibradores para transporte de chocolates .....	18
2.1.2    Alternativa 2: Dosificación con un sistema de brazo robótico para el transporte de la funda de chocolates .....	18
2.1.3    Alternativa 3: Dosificación con sistemas de bandas trasportadoras separadoras de chocolates .....	19
2.2    Análisis Cualitativo .....	20
2.2.1    Alternativa 1: Dosificación con un sistema de vibradores para transporte ....	20
2.2.3    Alternativa 3: Dosificación con un sistema de bandas trasportadoras separadoras de chocolates .....	21
2.3    Análisis Cuantitativo .....	23
2.3.1    Estudio de las alternativas del diseño mecánico.....	23
2.3.2    Alternativa de material .....	24
2.3.3    Estudios para materiales .....	25
2.3.4    Las Alternativas motores eléctricos.....	25
2.3.5    Sistema de calificación para motores eléctricos .....	26
2.3.6    Estudio de alternativas de los motores eléctricos .....	26
2.3.7    Estudio de Controladores.....	27
2.3.8    Sistema de calificación para controladores .....	27
2.3.9    Estudio de las alternativas de controladores.....	27
CAPÍTULO III.....	29
DISEÑO Y SIMULACIÓN .....	29
3.1    Diseño mecánico de la máquina .....	29
3.2    Sistema de almacenamiento (Tolva) .....	31
3.2.1    Capacidad real de la Tolva .....	35

3.2.2	Flujo másico de la tolva.....	35
3.2.3	Flujo másico del agujero de la tolva.....	35
3.3	Diseño del sistema de dosificación en la tolva de almacenamiento (Mecanismo engranaje y cremallera acoplada como compuerta) .....	37
3.3.1	Cálculo de paso diametral real engranaje .....	38
3.3.2	Cálculo altura de cabeza engranaje con cremallera.....	38
3.3.3	Cálculo distancia al centro engranaje con cremallera .....	39
3.4	Diseño del sistema de transportación del producto (Banda transportadora) .....	40
3.4.1	Cálculos del sistema de transportación (Banda Transportadora) .....	42
3.4.2	Sección transversal del área al ser transportada .....	43
3.4.3	Capacidad volumétrica del transporte de una banda .....	43
3.4.4	Capacidad de transporte en masa.....	44
3.4.5	Potencia de accionamiento de la banda transportadora .....	45
3.4.6	Potencia total para la transmisión entre el tambor motriz y la banda será: .....	49
3.4.7	Resistencia mínima a la tracción de la banda .....	50
3.4.8	Coefficiente de seguridad de la banda por resistencia. ....	51
3.4.9	Cálculo de tensiones de la banda.....	51
3.4.10	Calculo tensiones en cada rama de la banda y del tambor motriz .....	51
3.4.11	Cálculo de velocidad y diámetro de giro del tambor motriz.....	54
3.4.12	Cargas actuantes sobre el tambor motriz .....	55
3.4.13	Selección de la resistencia nominal final de la banda.....	55
3.5	Engranajes (grande y pequeño) para el movimiento de la banda .....	56
3.5.1	Razón de velocidad.....	57
3.5.2	Velocidad angular del engrane impulsado.....	57
3.5.3	Diámetros de paso .....	57
3.5.4	Velocidad en la línea de paso .....	58

3.6	Diseño de tolva de recolección.....	58
3.6.1	Cálculo de la trayectoria de descarga del chocolate con distintos tiempos:...	60
3.7	Diseño estructural tipo mesa con caja recolectora.....	61
3.8	Estructura de la máquina .....	61
3.8.1	Cálculos de soldadura para la estructura .....	65
3.9	Cálculo Pernos para sujetar algunos elementos de la máquina .....	70
3.10	Selección de sensor de detección.....	73
3.10.1	Diagrama eléctrico del Sensor Ultrasónico VM18NNO .....	75
3.11	Elección de motores eléctricos .....	75
3.11.1	Motorreductor con caja reductora JGA25-370 .....	75
3.11.2	Diagrama de conexiones Motor con caja Reductora .....	76
3.11.3	Motor a pasos MQOUO Nema 17 .....	76
3.11.4	Diagrama de conexión del Motor Paso a Paso.....	76
3.12	Sistema de control .....	77
3.13	Diagrama de flujo de la máquina dosificadora de chocolates .....	78
3.14	Diseño de la interfaz en el HMI.....	80
CAPÍTULO IV.....		82
ANÁLISIS Y RESULTADOS .....		82
4.1	Análisis del proceso actual .....	82
4.1.2	La selección de alternativas para el diseño de la máquina dosificadora .....	83
4.2	Resultados.....	85
4.3	Análisis económico de la máquina .....	86
4.3.1	Construcción mecánica.....	87
4.3.2	Construcción eléctrica y de control .....	87
4.3.3	Mano de obra .....	88
4.3.4	El total de costo de la construcción de la máquina.....	88

4.4	Análisis VAN Y TIR.....	88
4.4.1	Determinación de costos.....	88
4.4.2	Depreciación.....	89
4.4.3	Flujo Neto de Caja.....	89
4.4.4	El costo de capital o tasa mínima aceptable de rendimiento .....	90
4.4.5	Valor Actual Neto.....	91
4.4.6	La Tasa interna de retorno .....	91
4.4.7	Evaluación de Proyecto .....	91
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	93
	CONCLUSIONES .....	93
	RECOMENDACIONES.....	94
	BIBLIOGRAFÍA .....	95

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Máquina Dosificadora [1]. .....	3
<b>Figura 2.</b> Dosificadora volumétrica [5].....	4
<b>Figura 3.</b> Dosificadora por pesaje de dos cabezales [6].....	5
<b>Figura 4.</b> Dosificador de Tornillo sin fin [6]. .....	5
<b>Figura 5.</b> Dosificador Gravimétrico [7]. .....	6
<b>Figura 6.</b> Tolva de Alimentación [8]. .....	6
<b>Figura 7.</b> Polietileno.PE [10]. .....	7
<b>Figura 8.</b> Tubería Cuadrada Acero Inoxidable 304 [13].....	9
<b>Figura 9.</b> Polietileno.PE [17]. .....	10
<b>Figura 10.</b> Motorreductor [18]. .....	10
<b>Figura 11.</b> Motor paso a paso [20]. .....	11
<b>Figura 12.</b> Medición de la distancia del sensor ultrasónico [24]. .....	12
<b>Figura 13.</b> PLC Siemens S7-300 [27]. .....	13
<b>Figura 14.</b> HMI KTP 1000 Basic [28]. .....	14
<b>Figura 15.</b> Alternativa 1 [37]. .....	18
<b>Figura 16.</b> Alternativa 2. ....	19
<b>Figura 17.</b> Alternativa 3. ....	20
<b>Figura 19.</b> Medición de los volúmenes de los diferentes tipos de chocolates. ....	30
<b>Figura 20.</b> Tolva principal. ....	33
<b>Figura 21.</b> Vista lateral y frontal dimensiones de Tolva principal.....	33
<b>Figura 22.</b> Tolva principal Análisis de Desplazamiento.....	37
<b>Figura 23.</b> Tolva principal Análisis de Factor de seguridad. ....	37
<b>Figura 24.</b> Mecanismo de engranaje y cremallera (Compuerta).....	40
<b>Figura 25.</b> Vista del sistema de trasportación (Banda trasportadora). ....	41
<b>Figura 26.</b> Rodillo Montaje Plano [41].....	42

<b>Figura 27.</b> Transportador de la caja registradora ejemplo [40].....	56
<b>Figura 28.</b> Tolva de recolección. ....	59
<b>Figura 29.</b> Vista lateral y frontal Tolva de recolección. ....	59
<b>Figura 30.</b> Trayectoria de la descarga de chocolates. ....	60
<b>Figura 31.</b> Estructural tipo mesa. ....	61
<b>Figura 32.</b> Vistas caja recolectora y Estructura tipo mesa. ....	61
<b>Figura 33.</b> Estructura metálica de la máquina dosificadora de chocolates. ....	62
<b>Figura 34.</b> Vista frontal Estructura de la máquina dosificadora de chocolates.....	62
<b>Figura 35.</b> Vista lateral Estructura de la máquina dosificadora de chocolates. ....	63
<b>Figura 36.</b> Estructura mecánica Tensiones. ....	63
<b>Figura 37.</b> Estructura mecánica Desplazamiento.....	64
<b>Figura 38.</b> Estructura mecánica Factor de seguridad.....	65
<b>Figura 39.</b> Representación gráfica de la garganta de soldadura [45].....	69
<b>Figura 40.</b> Detector sensor ultrasónico UM30 [24]. ....	73
<b>Figura 41.</b> Detector sensor ultrasónico VM18NNO [24]. ....	74
<b>Figura 42.</b> Diagrama eléctrico conexión Sensor Ultrasónico [48].....	75
<b>Figura 43.</b> Esquema de conexión CadeSimu Motor Reductor.....	76
<b>Figura 44.</b> Esquema de conexión CadeSimu Motor apasos.....	77
<b>Figura 46.</b> Presentación de la Máquina Dosificadora de chocolates. ....	80
<b>Figura 47.</b> Pantalla HMI Proceso de la Máquina Dosificadora de chocolates. ....	81
<b>Figura 48.</b> Guía Proceso de la Máquina Dosificadora de chocolates. ....	82
<b>Figura 49.</b> Grafica Tiempo vs Peso. ....	86

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Medidas y capacidades referenciales [8]. .....	7
<b>Tabla 2.</b> Propiedades físicas del acero inoxidable [12].....	8
<b>Tabla 3.</b> Sistema de rangos de calificación de los parámetros de diseño mecánico. ....	23
<b>Tabla 4.</b> Calificación de alternativas de diseño mecánico. ....	23
<b>Tabla 5.</b> Propiedades del Acero Inoxidable [39].....	23
<b>Tabla 6.</b> Sistema de calificación para alternativas de materiales.....	25
<b>Tabla 7.</b> Sistema de calificación para alternativas de motores eléctricos. ....	25
<b>Tabla 8.</b> Calificación de alternativas para motores eléctricos.....	26
<b>Tabla 9.</b> Sistema de calificación para controladores.....	27
<b>Tabla 10.</b> Calificación de alternativas para controladores. ....	27
<b>Tabla 11.</b> Masa y volumen de los chocolates del producto Chocolerito.....	31
<b>Tabla 12.</b> Masa y volumen de los chocolates del producto Chocolerito [40].....	31
<b>Tabla 13.</b> Partes del sistema de transportación (Banda Transportadora).....	38
<b>Tabla 14.</b> Ángulo de sobrecarga, características de los materiales [42]. ....	42
<b>Tabla 15.</b> Densidad de los chocolates. ....	44
<b>Tabla 16.</b> Factor de ancho $C_b$ [44].....	44
<b>Tabla 17.</b> Factor de longitud de banda y servicio $C_i$ [44].....	47
<b>Tabla 18.</b> Factor de servicio $K_f$ [44]. ....	47
<b>Tabla 19.</b> Potencias adicionales de equipos auxiliares [43].....	47
<b>Tabla 20.</b> Factor de Servicio $C_1$ [43]. ....	48
<b>Tabla 21.</b> Resistencias nominales $R_N$ de las bandas textiles [43].....	50
<b>Tabla 22.</b> Valores del coeficiente de fricción [44].....	51
<b>Tabla 23.</b> Diámetros de tambores normalizados según la norma DIN-22101 [44]. ....	53
<b>Tabla 24.</b> Datos para la representación gráfica de la trayectoria de la descarga.....	54
<b>Tabla 25.</b> Valores de Factor de correlación para redondeos de soldadura determinados por el Eurocódigo EN1993-1-8:2002 [44]. ....	61

<b>Tabla 26.</b> Dimensiones geométricas del tipo de tornillo empleado en la unión. ....	69
<b>Tabla 27.</b> Tabla de dimensiones normalizadas de Tornillos Ordinarios [46]. ....	70
<b>Tabla 28.</b> Coeficientes parciales de seguridad [46]. ....	70
<b>Tabla 29.</b> Comparación del rango de funcionamiento/límite, tiempo de salida/tiempo de respuesta de los sensores ultrasónicos UM30 [24]. ....	71
<b>Tabla 30.</b> Características del sensor ultrasónico VM18NNO [47]. ....	74
<b>Tabla 31.</b> Características del PLC.....	75
<b>Tabla 32.</b> Especificaciones del diseño. ....	82
<b>Tabla 33.</b> Datos de tiempo del proceso de dosificación.....	83
<b>Tabla 34.</b> Estimación de tiempo por cantidad de fundas de chocolates.....	85
<b>Tabla 35.</b> Cotización de materiales y componentes.....	86
<b>Tabla 36.</b> Análisis de costos de la construcción mecánica. ....	87
<b>Tabla 37.</b> Análisis de costos de la construcción eléctrica y de control. ....	87
<b>Tabla 38.</b> Análisis de costos de mano de obra. ....	88
<b>Tabla 39.</b> Análisis de costo total de la máquina.....	88
<b>Tabla 40.</b> Valor Total Anual de Costos Fijos.....	88
<b>Tabla 41.</b> Valor Total Anual de Costos Variables. ....	89
<b>Tabla 42.</b> Depreciación lineal anual de inversiones.....	89
<b>Tabla 43.</b> Flujo Neto de Caja. ....	89
<b>Tabla 44.</b> Tasa de descuento (TMAR). ....	90
<b>Tabla 45.</b> Valor Actual Neto (VAN).....	91
<b>Tabla 46.</b> Tasa interna de Retorno (TIR). ....	91
<b>Tabla 47.</b> Evaluación del proyecto.....	91

## Nomenclatura

Símbolo	Descripción	Unidad
$A$	Área de sección transversal del material transportado.	$[m^2]$
$A_B$	Área de base mayor.	$[mm^2]$
$A_b$	Área de base menor.	$[mm^2]$
$A_s$	Área resistente a tracción del tornillo.	$[mm^2]$
$A_{tolva}$	Área de salida de la tolva.	$[m^2]$
$ADC$	Altura de Cabeza.	$[-]$
$a$	Aceleración.	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
$a_1, a_2, a_3$	Espesor de la garganta.	$[mm]$
$a^\circ$	Ángulo de contacto entre banda y tambor.	$[\circ]$
$B$	Ancho de banda de la cinta.	$[m]$
$B_{p,Rd}$	Punzonamiento de la chapa en contacto con la cabeza del tornillo	$[N]$
$C_b$	Factor de ancho de banda.	$[-]$
$C_l$	Factor de longitud de banda.	$[-]$
$C_s$	Coefficiente de seguridad, según el tipo de banda.	$[-]$
$C_{seg}$	Coefficiente de seguridad final en la banda.	$[-]$
$C_T$	Capacidad de la tolva.	$[kg]$
$C_{TR}$	Capacidad real de la Tolva.	$[kg]$
$C_1$	Factor de servicio.	$[-]$
$DC$	Distancia al centro.	$[in]$
DP	Paso diametral estándar tabla.	$[-]$
$D_{Tmin}$	Diámetro del tambor motriz.	$[mm]$
$d$	Diámetro del Tornillo.	$[mm]$
$d_1$	Diámetro de paso de engranaje impulsor.	$[in]$
$d_2$	Diámetro de paso de engranaje impulsor.	$[in]$
$e$	Excentricidad.	$[mm]$
$F_{ev}$	Factor de Espacios Vacíos.	$[-]$
$F_t$	Fuerza tangencial que transmite el tambor motriz a la banda en estado estacionario.	$[N]$
$F_{tA}$	Fuerza tangencial en el arranque en estado no estacionario.	$[N]$
$F_{v,Ed}$	Esfuerzo cortante que actúa sobre la unión atornillada.	$[N]$
$F_{t,Ed}$	Esfuerzo axial que actúa sobre la unión atornillada.	$[N]$
$F_{v,Rd}$	Resistencia a cortante de la unión para el tipo de tornillo empleado.	$[N]$

$F_{t,Rd}$	Resistencia a la tracción de la unión para el tipo de tornillo empleado.	[N]
$f_u$	Resistencia a tracción del acero de las piezas a soldar.	[MPa]
$f_{ub}$	Tensión última a tracción del tornillo.	$\left[\frac{N}{mm^2}\right]$
$g$	Gravedad.	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
$H$	Altura alcanzada por la cinta.	[m]
$h_1, h_2$	Altura	[mm]
$I$	Inercia	[mm]
$K_f$	Factor de servicio	[-]
$k$	Coefficiente de reducción de la capacidad de transporte de la cinta por su inclinación.	[-]
$L$	Longitud de la banda.	[m]
$l$	Longitud de los rodillos.	[m]
$\dot{M}_{Diseño}$	Flujo másico a la salida de la tolva.	$\left[\frac{kg}{s}\right]$
$\dot{M}$	Flujo Másico	$\left[\frac{kg}{s}\right]$
$M_A$	Par motor en el arranque.	[N.m]
$m$	Constante generalizada para la ecuación de flujo másico	[-]
$m_{chocolate}$	Masa del chocolate.	[gr]
$m_f$	Masa de chocolates por funda.	[kg]
$N$	Número de dientes.	[-]
$N_1$	Número de dientes de engranaje impulsor.	[-]
$N_2$	Número de dientes de engranaje impulsado.	[-]
$n_1$	Esfuerzo en la sección abatida.	[MPa]
$n_T$	Velocidad de giro del tambor motriz.	[rpm]
$P_a$	Potencia debido a los trippers instalados.	[kW]
$P_b$	Potencia debida a los dispositivos de limpieza.	[kW]
$P_c$	Potencia debida a las guías y faldones instalados.	[kW]
$P_T$	Potencia de accionamiento de la cinta.	[kW]
$P_1$	Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada.	[kW]
$P_2$	Potencia necesaria para elevar la carga hasta una cierta altura.	[kW]
$P_3$	Potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos auxiliares.	[kW]
$PD$	Paso diametral estándar real.	[in]
$p$	Capacidad de transmisión tambor/banda	$\left[\frac{kg}{m^2}\right]$

$Q_m$	Capacidad de transporte en masa.	$\left[\frac{t}{h}\right]$
$Q_v$	Capacidad volumétrica de la banda.	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
$R$	Resistencia nominal mínima que debe ofrecer la banda.	$\left[\frac{N}{mm}\right]$
$r_1$	Radio de engranaje impulsor.	$[in]$
$S$	Trayectoria del material	$[m]$
$S_h$	Trayectoria Horizontal	$[m]$
$S_v$	Trayectoria Vertical	$[m]$
$T$	Tensión de trabajo máximo calculado en la banda.	$[N]$
$\dot{T}$	Flujo de Producción.	$\left[\frac{fundas}{s}\right]$
$T_1$	Tensión del lado más tenso de la banda.	$[N]$
$T_{1A}$	Tensión del lado más tenso de la banda durante el arranque de motor.	$[N]$
$T_2$	Tensión del lado menos tenso de la banda.	$[N]$
$T_{2A}$	Tensión del lado menos tenso de la banda durante el arranque de motor.	$[N]$
$t$	Tiempo	$[s]$
$t_{a1}$	Tensión tangencial del plano abatido	$[MPa]$
$t_{n1}$	Tensión normal del plano abatido.	$[MPa]$
$t_e$	Espesor de la pieza donde se ha practicado el agujero	$[mm]$
$V$	Volumen del chocolate.	$[cm^3]$
$VR$	Razón de Velocidad.	$[-]$
$V_A$	Volumen de la tolva.	$[m^3]$
$V_{diseño}$	Volumen de diseño.	$[m^3]$
$V_{lineal}$	Velocidad Lineal	$\left[\frac{m}{s}\right]$
$V_1$	Volumen de la caja rectangular de la tolva.	$[m^3]$
$V_2$	Volumen de la caja cónica de la tolva.	$[m^3]$
$v$	Velocidad de avance de la cinta.	$\left[\frac{m}{s}\right]$
$v_1$	Velocidad en la línea de paso.	$\left[\frac{ft}{min}\right]$
$X$	Lado más pequeño de la tolva.	$[m]$
$W$	Peso de la tolva.	$[N]$
$W_c$	Módulo resistente del cordón.	$[mm^3]$
$w_1$	Velocidad angular de engranaje impulsor.	$[rpm]$

$w_2$	Velocidad angular de engranaje impulsado.	[rpm]
$\beta_w$	Coefficiente de correlación en función del tipo de acero de las piezas a soldar	[-]
$\sigma_1$	Esfuerzo normal que actúa sobre el plano de la garganta del cordón.	[MPa]
$\sigma_{co}$	Tensión de comparación de Von Mises “solicitación”.	[MPa]
$\rho$	Densidad.	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$\rho_{chocolate}$	Promedio de la densidad de los chocolates.	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
$\tau_{a1}$	Esfuerzo tangencial que actúa sobre el plano de la garganta en dirección paralela al plano del cordón.	[MPa]
$\tau_{n1}$	Esfuerzo tangencial que actúa sobre el plano de la garganta en dirección perpendicular al plano del cordón.	[MPa]
$\gamma$	Peso específico del material transportado.	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$
$\gamma_{Mb}$	Coefficiente parcial de seguridad de unión atornillada.	[-]
$\gamma_{Mw}$	Coefficiente parcial de seguridad de la unión soldada.	[-]
$\gamma_{chocolate}$	Promedio de peso específico de los chocolates.	$\left[\frac{t}{m^3}\right]$
$\lambda$	Ángulo de artesa que se disponen los rodillos en la cinta.	[°]
$\beta$	Ángulo de sobrecarga del material transportado por la cinta.	[°]
$\beta_{tolva}$	Ángulo de inclinación de la tolva.	[°]
$\varphi$	Ángulo de inclinación de la cinta.	[°]
$\mu$	Coefficiente de fricción entre banda y superficie del tambor.	[-]
$\mu_A$	Coefficiente de fricción de arranque del motor.	[-]

## RESUMEN

Este Trabajo de Titulación se presenta el diseño y simulación del prototipo de una máquina dosificadora de chocolates con capacidad de 20 kg, para el empaquetado de una funda de chocolates surtidos de 150 gr, conocido como “Chocolerito”.

En el Capítulo I se compone de antecedentes, el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos general y específicos, en donde se detalla acerca de la automatización que se desea realizar del proceso de dosificación de chocolates para optimizar el tiempo y obtener el peso justo que se desea en la funda del “Chocolerito”. Además, se describe el marco teórico en donde se desarrolla los conceptos y principios de ingeniería para el desarrollo de la máquina.

En el Capítulo II describe una serie de alternativas para la automatización de la dosificación de los chocolates, donde se escogió la óptima y factible en base características específicas que se considera importante para realizar el prototipo.

En el Capítulo III se presenta los cálculos respecto de cada uno de los componentes de la dosificadora (tolvas, bandas transportadoras), los circuitos eléctricos, de potencia y los planos de la máquina para la empresa Salinerito, ya que se requería la dosificación de 4 tipos de chocolates: trufa de 12 gramos, Frei de 10 gramos, chocolate mediano de 8 gramos, chocolate pequeño de 5 gramos en una funda de 150 gramos que contenga todos los chocolates mencionados. Para ello se realiza un pesaje de cada uno de los chocolates y se obtiene el volumen de manera experimental para realizar los respectivos cálculos de la tolva y la banda transportadora. Es así, que se obtiene de la máquina dosificadora 150 gramos de chocolates, donde se colocan 4 unidades de trufas, 4 unidades de Frei, 4 unidades de chocolate mediano y 6 unidades de chocolate pequeño, realizando la correcta dosificación de los chocolates con una tolerancia de  $\pm 1$ .

En el Capítulo IV se detalla los resultados obtenidos, el diseño final de la máquina dosificadora y el análisis económico factible, de acuerdo con el cual el proyecto es viable.

**Palabras clave:** Banda, Chocolate, Dosificadora, HMI, Tolva, Transportadora.

## ABSTRACT

This Degree Project presents the design and simulation of the prototype of a chocolate dosing machine with a capacity of 20 kg, for the packaging of a 150-gr assorted chocolate bag, known as "Chocolerito".

In Chapter I, the background, the problem statement, the justification, and the general and specific objectives are made up, where it is detailed about the automation that the chocolate dosing process is to be carried out to optimize the time and obtain the right weight. that is desired in the cover of the "Chocolerito". In addition, the theoretical framework is described where the engineering concepts and principles for the development of the machine are developed.

Chapter II describes a series of alternatives for the automation of the dosage of chocolates, where the most optimal and feasible one was chosen based on specific characteristics that are considered important to carry out the prototype.

In Chapter III the calculations are presented regarding each of the components of the dosing machine (hoppers, conveyor belts), the electrical and power circuits and the plans of the machine for the Salinerito company, since the dosing of 4 types of chocolates: 12 gr truffle, 10 gr Frei, 8 gr medium chocolate, 5 gr small chocolate in a 150-gr case containing all featured chocolates. For this, each one of the chocolates is weighed and the volume is obtained experimentally to make the exact calculations of the hopper and the conveyor belt. Thus, 150 grams of chocolates are obtained from the dosing machine, where 4 units of truffles, 4 units of Frei, 4 units of medium chocolate and 6 units of small chocolate are placed, making the correct dosage of the chocolates with a tolerance of  $\pm 1$ .

Chapter IV details the results obtained, the final design of the dosing machine and the feasible economic analysis, according to which the project is viable.

**Keywords:** Belt, Chocolate, Doser, HMI, Hopper, Conveyor.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **PROBLEMA DE ESTUDIO**

La empresa Salinerito produce dulces basados en chocolate con diferente tipo de masa. La trufa de 12 gramos y los demás bombones tienen un peso de 10, 8, 5 gramos. Lo cual requieren colocar en una funda que pese 150 gramos con tolerancia  $\pm 2$  gramos, este proceso se lo realiza manualmente y por consiguiente el tiempo en realizarlo es extenso. Por lo que se necesita una máquina semiautomática donde el operario acerque una funda, esta arroje trufas y chocolates dentro de la misma obteniendo el peso establecido.

### **JUSTIFICACIÓN**

En la empresa del Salinerito generan varios productos que permiten que la industria siga creciendo por lo cual el producto más vendido son las fundas que contienen diferentes clases de chocolates, dentro de esta deben existir 150g que son necesarios ya que este producto es reconocido internacionalmente, sin embargo existe una necesidad para los trabajadores de abordar el problema que surge al tener que colocar cada bombón de chocolate en las fundas, ya que esto implica dedicar espacio a la producción de otros productos que también requieren mano de obra y tiempo, en este caso el problema más notable es que tienen que utilizar más de tres mesas y el personal es 5 personas ayudando a clasificar los chocolates, el peso de los mismos y el sellado de cada funda.

Considerando que en el país la tecnología utilizada es deficiente existe limitación ya que las técnicas y la economía es diferente por lo cual aportar una solución a estos problemas permiten que industrias pequeñas como el Salinerito se vuelvan internacionales con elementos tecnológicos que posibiliten el crecimiento de su producto y resplandezcan el mismo.

A su vez la implementación de la dosificadora de chocolates aportará la solución técnica y económica factible para las fundas surtidas de chocolates ya que va a incrementar la productividad en el procesamiento de fundas surtidas de bombones de chocolates, el tiempo de producción va a ser menor y la mano de obra será muy poca ya que la mayor parte de la máquina será automatizada. La automatización para este proceso de dosificación permitirá varios beneficios los cuales son aplicados en trabajos como la seguridad humana, salud industrial ya que reduciría accidentes del personal al realizar algún trabajo forzoso que afecten su cuerpo, actividades repetitivas que constantemente necesitan de fuerza en músculos. Por lo tanto, la solución es realizar un proceso de automatización que sea eficaz y que garantice la sanidad del

producto y prevenir accidentes o enfermedades laborales a los operadores.

Este proyecto plantea diseñar una dosificadora semiautomática de chocolates, el cual será simulado en un software CAD (Solid Works), además su fabricación será con acero inoxidable AISI 304 ya que este material es muy utilizado en la industria alimenticia. El proceso contará con 4 tolvas las cuales almacenan 4 productos; El sistema será controlado por un PLC el cual realizará la programación necesaria para obtener 150 gramos de producto por empaque, mediante el sensor de distancia realizará el conteo de cada tipo de chocolate, teniendo en cuenta una tolerancia de  $\pm 2$  gramos donde el operario lo almacenará en una funda y luego la sellará manualmente.

Adicionalmente, el presente proyecto aporta a la comunidad de Salinas (parroquia de Guaranda) ya que permite que el Salinerito obtenga una mayor producción y permita que su producto estrella que es la funda de varios chocolates tenga un proceso rentable y más que todo un ahorro de tiempo que ayudará a la gente y a los operarios.

## **GRUPO OBJETIVO**

Este proyecto está destinado al Salinerito una empresa emprendedora donde se empacan y realizan toda clase de productos como son los turrónes, quesos, fundas de té, en especial los chocolates su producto estrella.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una máquina dosificadora de chocolates y trufas por peso.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el proceso de empaquetado de trufas y chocolates para obtener los parámetros del proceso.
- Diseñar los elementos mecánicos y electrónicos para dosificar 150 gr de producto.
- Realizar planos a detalle de la máquina dosificadora semiautomática de chocolates y trufas para una futura implementación.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentarán los diferentes tipos de dosificadoras de alimentos, los sistemas en los que se basa las mismas. También, se presentará los materiales idóneos para la fabricación de la máquina y de qué forma serán los mecanismos para utilizar en la programación y en lo electrónico.

### 1.1 ¿Qué es la maquina dosificadora?

Es una herramienta útil de trabajo que permite agregar un líquido o sólido en cantidades exactas en cada una de sus descargas. Son usadas en diversas industrias como la alimenticia, cosmética, médica, limpieza, fertilizantes e insecticidas, etc [1].



**Figura 1.** Máquina Dosificadora [1].

La máquina de dosificado que se observa en la Figura 1 permite clasificar de manera fácil, rápida y eficiente de un producto, evitando de esta manera que se contamine el producto y se produzca mucho más rápido. Además, la máquina puede operar largas jornadas de manera eficiente, reemplazando así el trabajo de varios seres humanos realizando la misma tarea de forma manual [2].

#### 1.1.1 Tipos de dosificación de alimentos

Dentro de la industria existen sistemas de dosificación los cuales son productos que finalmente van a ser procesados con equipos como son las dosificadoras, en este caso los más conocidos, utilizados son dos y son los siguientes:

- **Dosificación de líquidos:** Es un proceso industrial que permite el flujo del fluido líquido es decir que controla la cantidad de líquido que requiere el producto en algún envase plástico, de cristal o recipientes de grandes litros, por lo cual mediante un dosificador permitirá proporcionar calibración de la cantidad que se desea obtener en el producto a

utilizar [3].

- **Dosificación de sólidos:** Es un proceso industrial que permite un pesaje completamente dinámico es decir que a medida que se va pesando el producto, contribuye al proceso por lo cual necesitará diferentes cantidades de productos sólidos para su mezcla y selección. De esta manera, se obtiene un dosificador ideal que asegura un peso adecuado necesario para obtener un producto final de calidad [4].

## 1.2 Sistemas de dosificadoras

En la industria alimenticia se aplica mucho los dosificadores que cumplen diferentes funciones como equipos bastante óptimos para el producto que se va a dosificar, se le conoce al sistema de dosificación por la utilización para pesar, medir y proporcionar diferentes productos a gran escala por cantidades de algún material al querer optimizar de forma de producción o la calidad que se necesita al proporcionar el producto de alta fabricación por lo cual se accede a este equipo o sistema para mejorar las líneas de producción dentro de la industria ya que su función es suministrar de forma continua la cantidad requerida en la fabricación del producto y así optimizar recursos, costos y hasta tiempo.

### 1.2.1 Tipos de dosificadoras

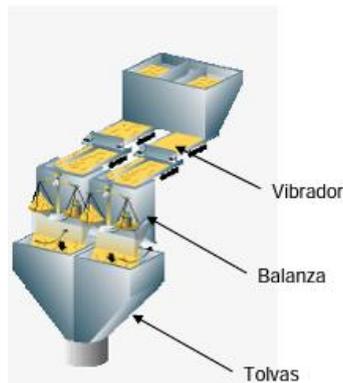
Dentro de los sistemas de dosificadoras existen varios tipos que se utilizan de diferente forma y su producción asegura optimizar toda clase de procesos industriales. A continuación, se explica cada uno de los tipos de dosificadores:

- **Dosificadores Volumétricos:** Se utilizan para trabajos semiautomáticos o envasadoras automáticas, se componen principalmente por tolvas que poseen un agitador de paleta para impedir que se formen cúmulos, aglomeración lo cual permitirá asegurar un producto totalmente uniforme como se observa en la Figura 2 [5].



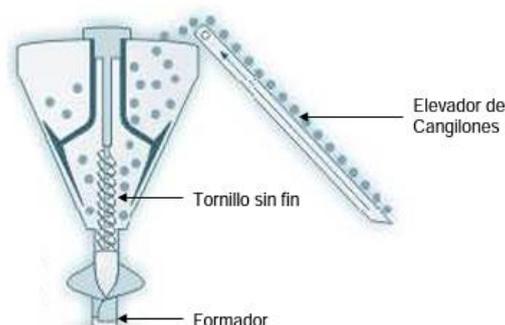
**Figura 2.** Dosificadora volumétrica [5].

- **Dosificadores de Peso:** Como se muestra en la Figura 3, Son dosificadores utilizados para optimizar el peso mediante un dispositivo vibratorio es decir que poseen un alimentador de que contine una celda de carga de forma que vibra mientras el producto cae, lo que evita que se rompa. Su control de peso es realizado digitalmente permitiendo realizar varias dosificaciones con una alta precisión. Son ideales para trabajar con cualquier producto sólido, snack o polvo que tenga formas irregulares por lo cual realizan producciones de forma semiautomática optimizado así el proceso del producto [6].



**Figura 3.** Dosificadora por pesaje de dos cabezales [6].

- **Dosificador de Tornillo sin fin:** El tornillo sin fin se encarga de dosificar y remover mediante un giro independiente el cual evita que el producto se aglomere. Se utiliza mucho para dosificar polvos de difícil deslizamiento y se los construye mayormente con acero inoxidable para evitar la corrosión de las tolvas [6]. En la Figura 4 se observa la imagen del proceso de dosificado con tornillo sin fin.



**Figura 4.** Dosificador de Tornillo sin fin [6].

- **Dosificadores Gravimétricos:** Se caracterizan por ser más precisos con mejor calidad ya que la cantidad de entrada de material es la misma de salida, así no hay desperdicios de material. También estos dosificadores “Operan basándose en pérdida de una cantidad específica de peso (material) en un tiempo específico”. Estos dosificadores no utilizan

una base como referencia para calibrar el caudal de dosificación, operan sobre la base de pérdida de peso durante un período específico de tiempo [7].



**Figura 5.** Dosificador Gravimétrico [7].

### **1.3 ¿Qué es una tolva?**

Es un contenedor que permite depositar y canalizar los materiales, sustancias viscosas y toda clase de granos. Este va montado en una base. Su forma es cónica, donde la carga se efectúa por la parte superior y la descarga se realiza por la compuerta inferior como se observa en la Figura 6 [8].



**Figura 6.** Tolva de Alimentación [8].

Comúnmente, son usadas en el campo de la agricultura, construcción, farmacéutica actividades industriales. La tolva es fabricada con distintos materiales dependiendo el uso de esta.

#### **1.3.1 Funcionamiento de la tolva**

Generalmente, la tolva se usa mediante una instalación suspendida sobre una base, donde se vacía el producto dentro de ella. Debido a que su posición y forma de la tolva ya que es sencillo descargar el producto que se encuentra en la parte inferior. Además, manejar la dosificación de manera eficaz separando los líquidos de los sólidos.

La tolva se puede agregar diferentes tipos de herramientas en la parte inferior, como tipos de molinos, trituradoras o pulverizadoras que controlan la cantidad destinada para ese proceso.

Inclusive, la forma de embudo y su posición de gran ayuda para que se puede realizar el vaciado total del producto evitando la disminución o reducción del volumen o cantidad del producto.

### 1.3.2 Medidas y capacidades de las tolvas para sólidos

En la Tabla 1 se visualiza las medidas y capacidades referenciales de las tolvas para sólidos las cuales en general son utilizadas en el ámbito industrial.

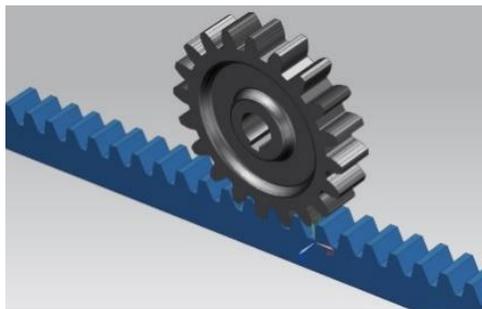
**Tabla 1.** Medidas y capacidades referenciales [8].

Capacidad (l)	Altura (m)	Diámetro (m)	Peso (kg)
600	1.60	0.98	20
1 300	1.87	1.10	29
3 000	1.45	2.00	90
3 500	2.10	2.00	90
7 000	3.85	1.80	145
14 000	4.72	2.51	310
27 000	5.96	2.76	

### 1.3.3 Sistema Piñón Cremallera

En la Figura 7 muestra un mecanismo que está conformado de engranajes denominados piñón y cremallera, que realiza un movimiento de giro en un movimiento rectilíneo. Este acople es comúnmente usado como parte de un accionamiento lineal sencillo.

Estos mecanismos se utilizan en taladros de columna, sacacorchos, apertura y cierre de puertas sobre guías y en las direcciones de los automóviles [9].



**Figura 7.** Polietileno.PE [10].

## 1.4 Materiales de construcción

### 1.4.1 Acero Inoxidable

Es una mezcla a base de hierro que tiene un bajo rendimiento de carbono y un mínimo necesario de 11% de cromo. Se caracteriza principalmente por tener una buena resistencia a la corrosión,

lo cual se debe a la formación de una capa extremadamente fina de la capa de óxido con material de cromo en la superficie del acero. De manera que el acero es apto para soportar las más rigurosas condiciones atmosféricas con alrededor de un 18% de Cromo [11].

En la Tabla 2 se detalla algunas propiedades que caracterizan al material acero Inoxidable.

**Tabla 2.** *Propiedades físicas del acero inoxidable [12].*

<b>Propiedades Físicas del acero Inoxidable</b>		
<b>Densidad (libra/pulg<sup>2</sup>) a RT</b>	-	0.29
<b>Módulo de elasticidad en tensión (psi x10<sup>6</sup>)</b>	-	28.0
<b>Calor específico (BTU/o °F/libra)</b>	32 a 212 °F (0 A 100°C)	0.12
<b>Conductividad térmica (BTU/h/pies<sup>2</sup>/pies)</b>	212°F	9.4
	932 °F (500 °C)	12.4
<b>Coefficiente promedio de expansión térmica (pulg x10<sup>-6</sup> o °F)</b>	32 a 212 °F (0 A 100°C)	9.2
	32 a 600°F (0 A 316°C)	9.9
	32 a 1000 °F (0 A 538°C)	10.2
	32 a 1200 °F (0 A 649°C)	10.4
<b>Resistencia eléctrica (microhmios por cm)</b>	A 70°F (21°C)	72
<b>Resistencia de punto de fusión (°F)</b>	-	2550 a 2650
<b>Resistencia a la oxidación. Servicio continuo (°F)</b>	-	1,650
<b>Resistencia a la oxidación. Servicio Intermitente (°F)</b>	-	1,500

El acero tipo 304 es un acero inoxidable austeníticos más usado con aplicaciones comunes tales como maquinaria, los utensilios de cocina para alimentos, equipos de químicos, las tuberías, recipientes y muchos más.

#### **1.4.2 Tubería Cuadrada Acero Inoxidable 304**

Este elemento se compone de material blando, se caracteriza por tener poca resistencia, forma aleaciones para aumentar su resistencia y permite crear toda clase de propiedades muy útiles.

Este tipo de tubos son usados en industrias y en lo doméstico. Como se observa en la Figura 8 con respecto en medidas tiene una amplia variedad que van desde 12 mm hasta 200 mm y espesores que se encuentran desde 1 mm, 1.2 mm, 1.5 mm, 2 mm y 3 mm [13].



**Figura 8.** Tubería Cuadrada Acero Inoxidable 304 [13].

### **Las principales aplicaciones de la tubería de acero son:**

- Industria automotriz, Estructuras, Decoración, Industria Alimentaria, Maquinarias.
- Construcción e ingeniería, Electrodomésticos, Herramientas quirúrgicas, entre otras aplicaciones [13].

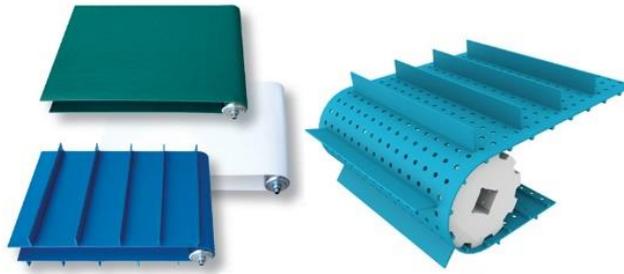
#### **1.4.3 Estructuras Metálicas**

Es aquella que está formada principalmente de partes de metal las cuales deben regirse a normas. Mayormente son usadas en construcción ya que presentan una gran versatilidad y también su costo de producción es más barato que cualquier otro tipo de estructuras metálicas. Una estructura debe cumplir tres requisitos fundamentales para funcionar correctamente: estabilidad, resistencia y rigidez. Estabilidad con el fin de que no tambalee o se vuelque, resistencia para que soporte fuerza sin quebrarse y rígida con el objetivo de que la forma de la estructura no cambie al someterla a esfuerzos tales como su propio peso, el de componentes o de personas [14].

#### **1.4.4 Polietileno-PE**

Es un plástico de alta resistencia usado en distintas industrias, que se caracteriza por su resistencia a impactos, flexibilidad, capacidad de amoldarse, flota sobre el agua, se adapta a distintas temperaturas, tiene resistencia química y grandes propiedades deslizantes, debido a su anti-adherencia y excelente absorción [15].

Tiene un rango de temperatura específico de  $-50$  a  $+65$  °C que lo hace un material más idóneo para elegir. Además, en la Figura 9 se aprecia el material de las bandas separadoras que tienen una excelente tenacidad al impacto y resistencia a la fatiga [16].



**Figura 9.** Polietileno.PE [17].

## **1.5 Elementos de control eléctrico industrial**

### **1.5.1 Motorreductor**

Es una máquina compacta que contiene un reductor de velocidad y un giro de motor usado para reducir de manera automática la velocidad de cualquier equipo de manera fácil. Su funcionamiento se basa en reducir la velocidad de las máquinas, tiene como prioridad la velocidad de regulación de entrada y salida permitiendo mover la maquina bajo la fuerza para no dañar el dispositivo.



**Figura 10.** Motorreductor [18].

Además, en la Figura 10 se muestra que este motor es atractivo ya que no genera tanto gasto de energía, es de fácil uso, cómodo y hace su trabajo de reducir significativamente la velocidad, adaptándose con facilidad a diversos mecanismos, inclusive mejora drásticamente el funcionamiento de los equipos [18].

### **1.5.2 ¿Qué es el Motor paso a paso?**

Funciona como motor a corriente continua que no contiene escobillas para su mejor rotación divide un cierto número de diferentes pasos para adaptar a la estructura del motor. Se observa en la Figura 11. la rotación completa que se divide en ciertas secciones discretas, el motor paso a paso no gira suavemente, sino que realiza saltos y cruza estados intermedios, provocando un sonido y vibración característicos en el motor [19].



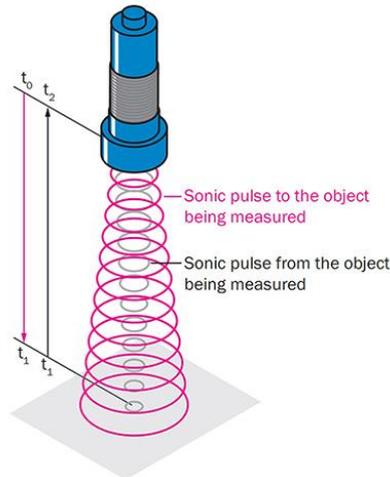
**Figura 11.** Motor paso a paso [20].

Para su funcionamiento, este motor necesita un controlador el cual se realiza a base de los diferentes circuitos que permiten controlar los drivers del motor conforme aumenta la capacidad de cargas la salida consume energía. El método de control del motor depende de su tipo, el número de fases y si es con o sin retroalimentación. La verificación puede ser mediante forma de onda PWM que permite controlar la corriente que fluye a través de los devanados, o también usando formas de onda cuadradas que maneja la rotación y los pasos del motor [20].

### 1.5.3 Tipos de sensores

- **El Sensor de proximidad:** Son módulos usados para la detección de la presencia de objetos cercanos sin necesidad de contacto físico. Se utilizan en muchas aplicaciones, tales como sistemas de transporte, sensores de aparcamiento, sistemas de advertencia y dispositivos móviles [21].
  - a) **Sensores capacitivos:** Funcionan como un tipo de detección de presencia que permite tener conducción eléctrica para alterar un campo eléctrico. Puede ser usado para detectar la humedad y los niveles de fluidos.
  - b) **Sensores inductivos:** Funcionan como un tipo de detección de cambios en metales ferrosos o no ferrosos es decir que se utilizan de forma electromagnética lo que generan y detectan corrientes. Estos son sensores extremadamente reforzados usados en aplicaciones industriales, sensores de rotación, detectores de metales, aerogeneradores y equipos móviles [22].
- **El Sensor de fotoeléctrico:** Funciona como fuente de luz que es como un receptor de esta y contiene un circuito de control de salida que procesa señales que detectan objetos sin necesidad de tener algún contacto físico con estos. Por tal razón, con este sensor es posible satisfacer un amplio rango de necesidades de control como contar, medir la altura o el tamaño, la posición, monitorear velocidades de operación entre muchos otros [23].
- **Sensor Ultrasónico industrial:** Es un sensor que emite un pulso acústico de alta frecuencia es decir normalmente desde unos 80 kHz hasta varios como se muestra en la

Figura 12 que refleja un objeto detectado. El sensor mide el tiempo de ida y vuelta necesario para que el pulso de energía acústica se desplace desde el sensor hasta el objeto y de vuelta. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto [24].



**Figura 12.** Medición de la distancia del sensor ultrasónico [24].

**a. Las principales características del sensor ultrasónico son:**

- Detecta sin ser afectada por la acumulación de residuos.
- Este tipo de sensor ultrasónico están caracterizados por su fiabilidad y versatilidad.
- Dado que las ondas ultrasónicas pueden reflejarse en una superficie de vidrio o líquido, y retornar al cabezal, incluso los objetos transparentes pueden ser detectados [25].

**b. Las principales aplicaciones del sensor ultrasónico son:**

- El manejo de los residuos como también el empaquetado en le industrial alimenticia.
- Procesamiento de alimentos, bebidas para el control del nivel de llenado o la detección de objetos sólidos y líquidos [25].

## 1.6 Sistemas de control PLC

El PLC (Programmable Logic Controller) es un controlador lógico programable que se usa en ingeniería para la automatización de procesos industriales. Su finalidad es desarrollar sistemas eficientes que completen las tareas industriales de manera más rápida y económicamente beneficiosa.

### 1.6.1 PLC Siemens S7-300

Es un controlador que desarrolla varias soluciones para la automatización de rangos ideales para los campos que requieren optimización en productividad. Las industrias que obtienen mayor provecho son procesos de construcción y máquinas en serie, líneas de producción PROFINET y PROFIBUS descentralizadas, industria alimentaria, automotriz, empaquetado y hasta procesado de plásticos [26].



Figura 13. PLC Siemens S7-300 [27].

En la Figura 13 se observa el tipo de PLC S7 300 que tiene características para adaptarle a la industria. Las más importantes son:

- **La Programación de forma distribuida:** Contiene uso inteligente que permite reducir costos como en la ingeniería y operación, de tal manera, se puede reutilizar el programa y sus librerías.
- **Opción para memoria:** Posibilita el uso de Micro Memory Card, lo cual representa ahorro en mantenimiento, inclusive permite el almacenamiento de datos y facilita la actualización de firmwares.
- **Eficiencia:** El PLC es capaz de integrar otros procesos, además de automatizar, que tiene como factores importantes la seguridad y el movimiento, los cuales integra de manera funcional.
- **STEP 7:** Tiene una interfase orientada a objetos, con configuración gráfica en lugar de programación, inclusive ofrece diagnósticos inteligentes y un proceso de simulación offline [26].

### 1.6.2 Funcionamiento del PLC S7 300

El PLC realiza un autodiagnóstico donde revisa los inconvenientes de cada circuito y el

dispositivo lo alerta mediante las señales eléctricas. Para diagnosticar el estado encendido o apagado evalúa cada entrada y almacena los procesos de memoria a través de una imagen. Finalmente existe un registro y actualización de salidas donde se restaura de manera coetánea todas las salidas [27].

### 1.7 Interfaz humano-Maquina (HMI)

Es una interfaz humano y máquina que procesa métodos interactivos para el operario y los supervisores que usan para coordinar y controlar procesos industriales de fabricación. El HMI traduce variables complejas del proceso en información útil y procesable.



Figura 14. HMI KTP 1000 Basic [28].

Como se muestra en la Figura 14 la finalidad del visualizador es presentar la información operativa en tiempo real y comprensible, ya que mediante gráficos del sistema se puede entender de mejor manera el contexto del estado de un motor, válvulas, hasta niveles de tanque y otros parámetros del proceso. Además, la flexibilidad y las capacidades avanzadas del software HMI actual presentan nuevas y grandes oportunidades para mejorar la eficiencia de las máquinas y los procesos [28].

#### Especificaciones de HMI KTP 1000 Basic:

- El Tipo de Display: Es una Pantalla panorámica y retroiluminación.
- Resolución: 480 x 272 pixeles; Tensión de alimentación: 24 VDC.
- Protocols: PROFINET, PROFIBUS, Ethernet, CAN, MODBUS [29].

### 1.8 Sistemas de bandas transportadoras

Es un equipo de manejo mecánico rápido y eficiente que funciona como transportador automático de las diferentes cargas de productos o materiales dentro de un área ya determinada. Este sistema sirve para minimizar el error humano es decir que hay menos riesgo en el lugar de

trabajo, reducción del costo de mano de obra y el tiempo en producción ya que sale conforme se lo requiera por lo cual entra más producto exista la calidad de ello permitirá ganancias dobles en la industria [30].

### 1.8.1 Tipos de bandas trasportadoras

Existen una variedad de bandas trasportadoras, con distinciones en los materiales de sus cintas (como correas magnéticas, plásticas, acero inoxidable, entre otros), además se emplean en los enfoques del transporte. A continuación, se presenta las principales que hay:

- **De rodillos:** Este sistema está compuesto por una selección de rodillos, la cantidad cuidadosamente elegida para satisfacer los requisitos específicos de la producción, como la velocidad, el peso y la, entre otros aspectos. Estas bandas son una excelente alternativa para minimizar la fricción y evitar la carga manual de los productos.
- **Modular:** La operatividad de este tipo de banda transportadora resulta altamente adecuada para el ámbito de productos alimenticios, debido a que incorpora un diseño compuesto por segmentos con piezas de plástico interconectadas, las cuales pueden ser retiradas y reemplazadas de forma individual. Esto facilita considerablemente las tareas de limpieza y mantenimiento.
- **Plana:** La variante más común en la industria consiste en un conjunto de poleas motorizadas que impulsan una cinta fabricada con diversos materiales, encargada de trasladar productos colocados sobre ella de un punto a otro. Se emplea principalmente en entornos internos y destaca por su gran versatilidad, lo que la ha consolidado como una herramienta clave en el sector industrial.
- **De listones:** La estructura de este diseño se fundamenta en barreras verticales o grapas que aportan un nivel elevado de seguridad y una distribución más eficiente de los materiales colocados en la banda transportadora. Posee una variedad de formas de grapas adaptadas a diferentes posibles aplicaciones, como la V invertida, T invertida, L inclinada, entre otras [30].

## 1.9 Sistema de diseño por CAD/CAM/CAE

En la actualidad estos sistemas de diseño son muy utilizados ya que permiten realizar cualquier diseño sea hasta la mínima estructura hasta un ensamble completo es decir que mediante una computadora u ordenador se puede utilizarla ya que se caracteriza por ser interactiva y el tiempo que te demoras es corto, optimizado a realizar algún diseño o proceso industrial. En este caso se escogió el sistema de diseño SolidWorks el cual es un programa asistido por computadora

CAD y que la ingeniería sea modelada mediante un sólido asistido por ordenador el cual permite que sea CAE [31].

### **1.9.1 Programa SolidWorks**

Es un software de diseño CAD (Diseño asistido por ordenadores) en 3D de automatización para el diseño mecánico que permite a los diseñadores modelar piezas, ensamblajes en 3D y planos en 2D mediante diferentes croquis que permitan crear ideas con rapidez, experimentar con operaciones de dibujo, cotas, producir modelos y dibujos detallados [32].

Sirve para la creación de piezas mecánicas, máquinas y planos eléctricos, entre otros.

## **1.10 Normativas para la máquina dosificadora de chocolates**

### **1.10.1 La Norma INEN RTE 131**

Es un reglamento técnico que establece los requisitos de seguridad e higiene que debe cumplir la maquinaria para procesamiento de alimentos, con el fin de proteger la seguridad, la vida y la salud de las personas, el medio ambiente y prevenir prácticas engañosas que pueden inducir a error a los usuarios [33].

Acorde con lo establecido en el RTE INEN 131, los elementos electrónicos deben cumplir el requerimiento de protección IP54, según la Norma IEC 60529, así mismo, los elementos desmontables deben permitir un acceso fácil y seguro [34].

### **1.10.2 La Norma INEN RTE 131**

Es la normalización para tecnología eléctricas, electrónicas y demás relacionadas. La norma IEC 61508 coordina expertos técnicos que elaboran normas para las pruebas, operación y seguridad de los equipos electrónicos de todas las industrias [35], apoya entidades de Evaluación de la conformidad EC (verificación del cumplimiento de un dispositivo que cumplen una norma técnica) y regula los sistemas de EC de terceras partes, ya que tiene lineamientos, reglas y acuerdos, para los ensayos, inspección y certificación de productos que van a ser lanzados al mercado en los diferentes países. Contienen una descripción técnica de las características que un aparato debería contener o cumplir para que sea seguro, no afecte a las personas, el ambiente y funcione como se espera [36].



## CAPÍTULO II

### ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se centra en explorar diversas opciones que darán solución a la dificultad principal del análisis el cual será de gran ayuda para determinar la alternativa más adecuada a diseñar e implementar.

#### 2.1 Planteamiento de Alternativa

##### 2.1.1 Alternativa 1: Dosificación con un sistema de vibradores para transporte de chocolates

En la Figura 15 se observa la primera opción que se propone que es la utilización de dosificado por peso lineal, contiene una estructura compacta con cabezales tipo tolvas, vibradores lineales, bandejas del producto y tolva de depósito del producto. Dicha alternativa, será fabricada con acero inoxidable, totalmente automática, su producto se reparte en cada cabezal, su peso es preciso en cada vibrador lineal y para el control será mediante un HMI manejado por el trabajador.

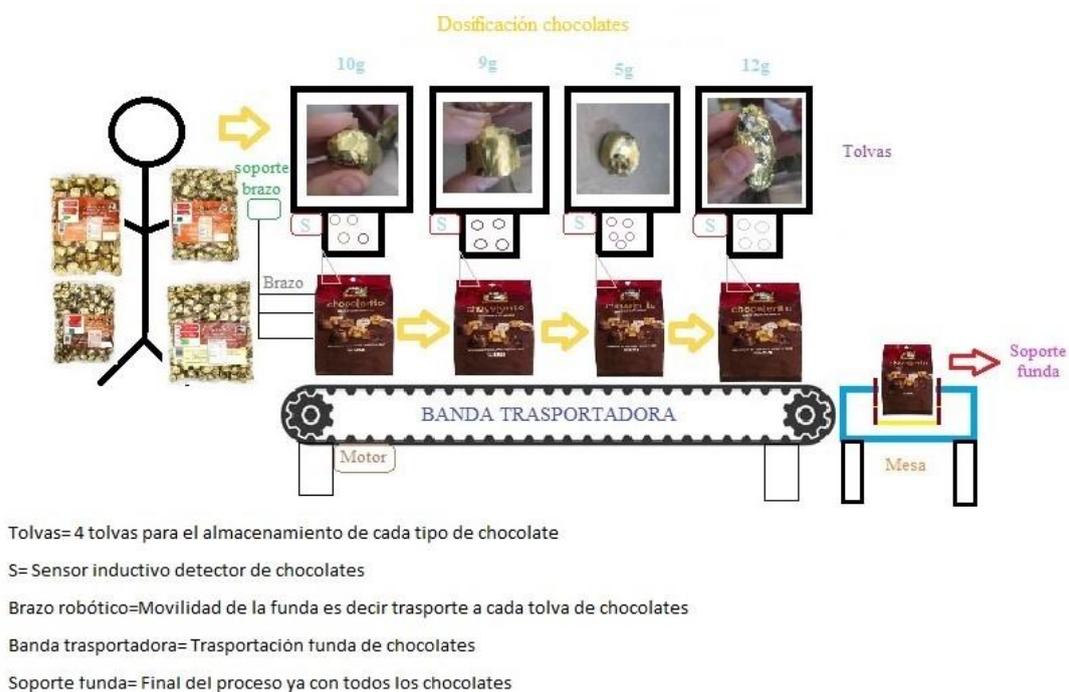


Figura 15. Alternativa 1 [37].

##### 2.1.2 Alternativa 2: Dosificación con un sistema de brazo robótico para el transporte de la funda de chocolates

En la figura 16 se observa la segunda opción que se propone que es la utilización de un sistema

de brazo robótico para el transporte de la funda de chocolates de la dosificación del producto en cada tolva, contiene una estructura más compleja en cada tolva va un sistema de apertura, en este caso para el transporte de la funda para que contenga el producto es mediante un brazo robótico el cual sostiene y desplaza la funda, el movimiento es con una banda transportadora y finalmente una mesa en donde llega la funda de chocolates ya con el peso requerido. Dicha alternativa, será fabricada con acero inoxidable, totalmente automática, su producto se reparte en cada tolva, su peso se detecta por un sensor ultrasónico y para el control será mediante un HMI manejado por el trabajador.



**Figura 16.** Alternativa 2.

### 2.1.3 Alternativa 3: Dosificación con sistemas de bandas transportadoras separadoras de chocolates

En la figura 17 se observa la tercera opción que se propone es la utilización de un sistema de bandas transportadoras separadoras de chocolates es decir que para el transporte de chocolates se ocupa 4 bandas las cuales contienen perfiles de contención trapezoidales que permiten una mejor movilización del producto y que este se acople de forma correcta, contiene una estructura desmontable, en cada tolva va un sistema de apertura por tiempos, en este caso para obtener el peso se utiliza un sistema de conteo mediante un sensor ultrasónico para verificar la distancia en la que se encuentra el chocolate conforme avanza se contara y permitirá la apertura de la

puerta, finalmente para el depósito del producto en las fundas se aplica un sistema de soporte tipo mesa el cual finalmente se obtiene el producto correcto al peso que se necesita. Dicha alternativa, será fabricada con acero inoxidable, es semiautomática ya que el trabajador pone el producto (Chocolates), su producto se reparte en cada tolva, para el control será mediante un HMI manejado por el trabajador.

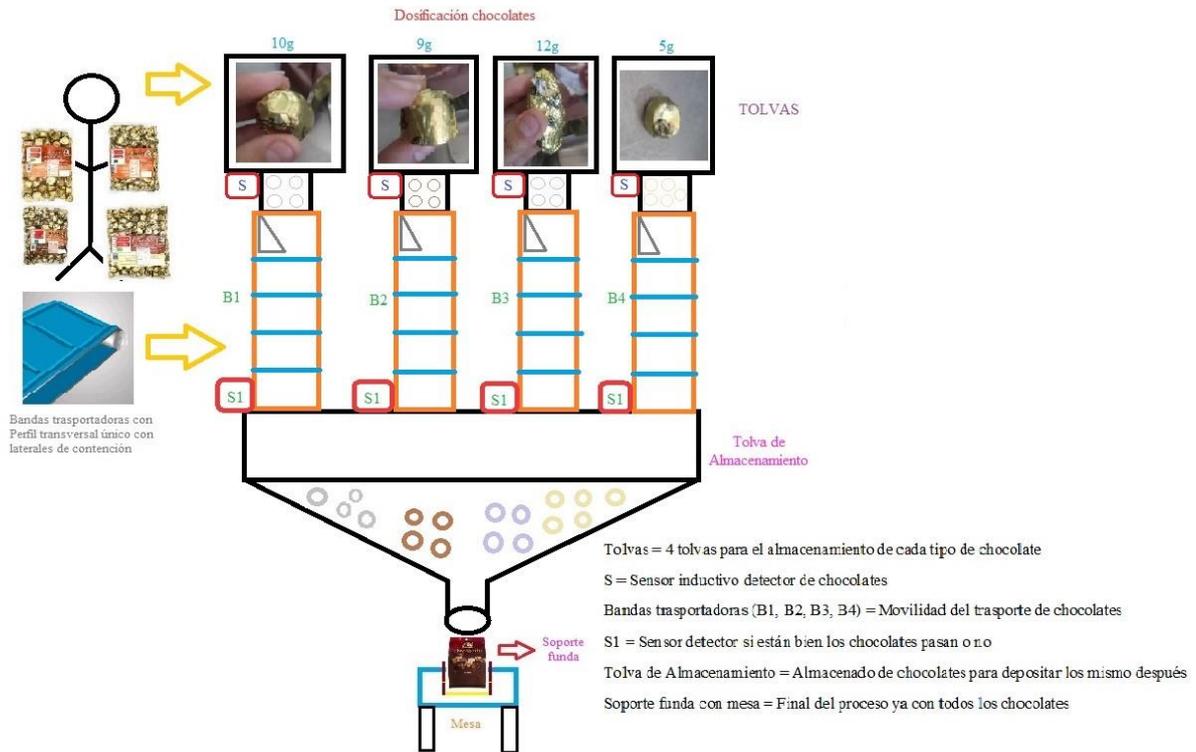


Figura 17. Alternativa 3.

## 2.2 Análisis Cualitativo

En este análisis se presentan las ventajas y desventajas de cada alternativa para conocer las diferencias, características, la funcionalidad para llegar a escoger la mejor alternativa a diseñar.

### 2.2.1 Alternativa 1: Dosificación con un sistema de vibradores para transporte

A partir del análisis cualitativo se busca en la alternativa 1 conocer las ventajas y desventajas del sistema de vibradores para el transporte.

#### Ventajas:

- Puede adaptarse a cualquier espacio ya que opera con un nivel sonoro reducido.
- El montaje de este sistema es flexible.
- Se puede hacer un control automático de este sistema de vibración.
- Requiere de bajo mantenimiento.

**Desventajas:**

- Los chocolates a causa de la vibración pueden caer en exceso y dar un peso erróneo.
- El costo de cada vibrador es exuberante.
- Presenta mayor dificultad en la construcción debido a la calibración de los vibradores.

**2.2.2 Alternativa 2: Dosificación con un sistema de brazo robótico para el transporte de la funda de chocolates**

A partir del análisis cualitativo se busca en la alternativa 2 conocer las ventajas y desventajas del sistema de brazo robótico para el transporte de la funda de chocolates.

**Ventajas:**

- Es un proceso industrial a gran escala.
- Su sistema de transporte del brazo robótico es versátil.
- Se puede hacer un control automático del cualquier otro control por ejemplo el sellado de las fundas.
- Requiere de menor mantenimiento.

**Desventajas:**

- La funda de chocolates mediante el brazo al pasar a cada tolva debe ser exacta y secuencial por lo cual el proceso se demora.
- Es la alternativa con mayor área por ocupar.
- El montaje de este sistema es conjunto no desmontable.
- Mayor Altura de la máquina, representa un riesgo para el trabajador.

**2.2.3 Alternativa 3: Dosificación con un sistema de bandas transportadoras separadoras de chocolates**

A partir del análisis cualitativo se busca en la alternativa 3 conocer las ventajas y desventajas del sistema de bandas transportadoras separadoras.

**Ventajas:**

- Distribución chocolates fácil y efectiva.
- El montaje de este sistema es desmontable.
- Control automático operativo y atractivo.
- Requiere de bajo mantenimiento.
- El tiempo de trabajo es menor y el producto se entrega rápido.
- Se adapta a cualquier otro sistema; por ejemplo, el sellado de las fundas.

**Desventajas:**

- La programación tiene mayor dificultad ya que para que el peso en la funda salga exacto es necesario realiza cálculos previos para tener un buen resultado.

## 2.3 Análisis Cuantitativo

Como se ve en la Tabla 3, se muestra las calificaciones para referenciar parámetros de las alternativas con la finalidad de encontrar la viabilidad para poder diseñarla.

**Tabla 3.** Rangos de calificación con parámetros de diseño mecánico.

PARÁMETRO	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	Rango 1-3	Rango 3-6	Rango 7-10
<b>Costo de implementación</b>	Caro	Regular	Económica
<b>Operatividad</b>	Complicada	Regular	Fácil
<b>Materiales en el mercado</b>	Difícil	Normal	Fácil
<b>Montaje</b>	Regular	Buena	Excelente
<b>Estabilidad</b>	Mala	Normal	Excelente

### 2.3.1 Estudio de las alternativas del diseño mecánico

Como se ve en la Tabla 4, se presentan distintos tipos de parámetros con sus respectivos porcentajes, que se utiliza como referencia al valor uno con la menor calificación y el valor diez como la más alta para la calificación del análisis.

**Tabla 4.** Método de Calificación de alternativas de diseño mecánico.

Í T E M	PARÁMETRO	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	ALTERNATIVA	IDEAL
		1	2	3	
		CALIFICACIÓN			
1	<b>Costo de construcción</b>	3	4	7	10
2	<b>Operatividad</b>	3	4	7	10
3	<b>Existencia de materiales en el mercado</b>	9	8	10	10
4	<b>Facilidad de montaje</b>	10	4	9	10
5	<b>Seguridad</b>	10	7	10	10
	<b>Suma</b>	35	27	43	50
	<b>Selección</b>	70%	54%	<b>86%</b>	100%

Los resultados obtenidos en la Tabla 4 se puede observar que la alternativa 3 es la idónea ya que se muestra un gran porcentaje frente a otras alternativas con el 86% que supera a la

alternativa más cercana con el 16%, tal alternativa cuenta con el mayor porcentaje caracterizándose por la seguridad y existencia de material en el mercado.

### 2.3.2 Alternativa de material

Los materiales seleccionados para el diseño de la Dosificadora con un sistema de bandas transportadoras separadoras de chocolates son materiales mecánicos, los cuales se detallan a continuación.

- a) **Acero inoxidable 304:** El acero inoxidable es esencial en la industria de productos alimenticios destinados al consumo humano, debido a sus características como la resistencia a la corrosión y su higiene, las cuales son indispensables en estos procesos industriales.
- b) **Acero inoxidable 316:** Proporciona una resistencia frente a la corrosión y a los ácidos no oxidables. Este material es ampliamente empleado de diversas formas con la fabricación de elementos utilizados por varias industrias, como la industria textil, entre otros. Principalmente, es valorado por su aplicabilidad en la industria alimentaria [38].

En la Tabla 5 se indica la especificación de cada material diferenciándolos entre sí.

**Tabla 5.** *Propiedades del Acero Inoxidable [39].*

Características técnicas del acero inoxidable		Serie 300	
		Acero al Cromo-Niquel	Acero al Cromo-Niquel-Molibdeno
Tipo AISI		304	316
<b>Designación</b>	Composición Química	<b>Cr 18% - 20%</b> <b>Ni 8% - 10.5%</b> C ≤ 0.08% Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00%	<b>Cr 16% - 18%</b> <b>Ni 8% - 10.5%</b> <b>Mo 2% - 2.5%</b> C ≤ 0.08% Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00%
	Módulo de elasticidad	193.00	193.00
<b>Propiedades físicas</b>	Estructura (N/mm <sup>2</sup> )	Austenítico	Austenítico
	Calor específico	500	500
	Peso específico a 20°C (densidad) (g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 – 7.98
	Intervalo de fusión (C)	13981454	13711398
	Conductividad térmica a 20°C/100°C (W/mK)	15/16	15/16
<b>Propiedades Eléctricas</b>	Permeabilidad eléctrica en estado soluble.	A magnético 1.008	A magnético 1.008
	Capacidad de resistencia (μΩm)	0.72 – 0.73	0.73 – 0.74

<b>Propiedades mecánicas a 20°C</b>	Resistencia a la tracción Recocido/deformación en frío Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 -720 / 540 - 750	540690
<b>Otras propiedades</b>	Maquinabilidad comparada con un acero Bessemer para a B112.	45%	45%

### 2.3.3 Estudios para materiales

Como se ve en la Tabla 6, se presentan distintos tipos de parámetros con sus respectivos porcentajes, que se utiliza como referencia al valor uno con la menor calificación y el valor diez como la más alta para la calificación del análisis.

**Tabla 6.** Método de calificación para alternativas de materiales.

N.º	PARÁMETRO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	IDEAL
		Rango 1-4	Rango 5-8	Rango 9-10
1	Costos	7	6	10
2	Ejecución	8	5	10
3	Operaciones	9	6	10
4	Fiabilidad	10	8	10
5	Aplicaciones	9	7	10
	Suma	43	32	50
	Selección	<b>86%</b>	64%	100%

Los resultados obtenidos en la Tabla 6, se afirma que la alternativa 1 es la más adecuada, ya que se muestra un gran porcentaje frente a otra alternativa con el 86% que supera a la alternativa más cercana con el 22%, tal alternativa cuenta con el mayor porcentaje caracterizándose por la operaciones, fiabilidad y aplicaciones.

### 2.3.4 Las Alternativas motores eléctricos

Los motores eléctricos son elementos capaces de accionar bandas transportadoras, así también se utilizan para movilizar mecanismos de apertura, entre otros.

- a) **Motor a pasos:** Es un motor CC sin escobillas, se caracteriza por su rotación dividida en un determinado número de pasos, los cuales surgen debido a la configuración particular de su diseño.
- b) **Motor Reductor:** Es un dispositivo compacto que integra tanto el reductor de velocidad como el motor, diseñado para la reducción automática del equipo o maquinaria.

- c) **Servomotor:** Es un componente electromecánico que encuentra aplicación en el campo de la automatización y control de maquinaria y equipos en el ámbito industrial [24].

### 2.3.5 Sistema de calificación para motores eléctricos

Como se muestra en la Tabla 7, presentan diversos niveles de rango con el fin de distinguir los motores eléctricos que cuentan con una mayor viabilidad para su implementación.

**Tabla 7.** Sistema de calificación para alternativas de motores eléctricos.

PARÁMETRO	INDICADORES			
	Rango 1-4	Rango 5-8	Rango 9-10	Rango 10
<b>Costo de implementación</b>	Caro	Regular	Económica	10
<b>Ejecución</b>	Compleja	Regular	Buena	10
<b>Operatividad</b>	Difícil	Regular	Fácil	10
<b>Estabilidad</b>	Mala	Regular	Buena	10
<b>Aplicación</b>	Difícil	Normal	Fácil	10

### 2.3.6 Estudio de alternativas de los motores eléctricos

Como se ve en la Tabla 8, se presentan distintos tipos de parámetros con sus respectivos porcentajes, que se utiliza como referencia al valor uno con la menor calificación y el valor diez como la más alta para la calificación del análisis.

**Tabla 8.** Calificación de alternativas para motores eléctricos.

N.º	PARÁMETRO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	TOTAL
		Rango 1-4	Rango 4-8	Rango 9-10	Rango 10
1	<b>Costos</b>	8	8	5	10
2	<b>Ejecución</b>	8	6	5	10
3	<b>Operaciones</b>	9	7	7	10
4	<b>Confiabilidad</b>	10	9	8	10
5	<b>Aplicaciones</b>	9	10	8	10
	<b>Suma</b>	44	40	33	50
	<b>Selección</b>	<b>88%</b>	80%	66%	100%

La alternativa 1 del motor paso a paso se destaca como la más adecuada para el sistema de apertura y cierre del mecanismo de la tolva, evidenciando un porcentaje significativamente alto

del 88% en comparación con la alternativa más cercana, que alcanza un 10% de diferencia por lo cual la 2 alternativa del motor reductor es adecuada para el sistema del movimiento de la banda transportadora por lo tanto estas dos selecciones son óptimas y aptas para la máquina.

### 2.3.7 Estudio de Controladores

El controlador permite manejar el proceso mediante la programación de cada uno de estos controladores consta de dos PLC capaces de accionar el sistema completo de la máquina.

- a) **PLC S7-300:** Es ampliamente útil en el ámbito industrial, ofrece una mayor capacidad de expansión y puede manejar proyectos más complejos y de mayor escala. Tiene una mayor cantidad de módulos y opciones disponibles, lo que lo hace adecuado para sistemas industriales más grandes y complejos.
- b) **PLC S7-1200:** Es ampliamente conocido actualmente en el mundo, es más compacto y económico, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde el espacio y el costo son factores críticos.

### 2.3.8 Sistema de calificación para controladores

Se observa en la Tabla 9, diversas puntuaciones que permiten identificar los criterios más favorables de cada alternativa, facilitando así la elección de las más viables para su posterior implementación.

**Tabla 9.** Sistema de calificación para controladores.

PARÁMETRO	INDICADORES			
	Rango 1-4	Rango 5-8	Rango 9-10	Rango 10
<b>Costo de implementación</b>	Caro	Regular	Económica	10
<b>Ejecución</b>	Compleja	Regular	Buena	10
<b>Operatividad</b>	Difícil	Regular	Fácil	10
<b>Estabilidad</b>	Mala	Regular	Buena	10
<b>Aplicación</b>	Difícil	Normal	Fácil	10

### 2.3.9 Estudio de las alternativas de controladores

Como se ve en la Tabla 10, se presentan distintos tipos de parámetros con sus respectivos porcentajes, que se utiliza como referencia al valor uno con la menor calificación y el valor diez como la más alta para la calificación del análisis.

**Tabla 10.** Calificación de alternativas para controladores.

N.º	PARÁMETRO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	IDEAL
-----	-----------	------------------	------------------	-------

		Rango 1-3	Rango 4-7	Rango 10
<b>1</b>	<b>Costo</b>	8	7	10
<b>2</b>	<b>Ejecución</b>	8	7	10
<b>3</b>	<b>Operaciones</b>	9	7	10
<b>4</b>	<b>Fiabilidad</b>	10	9	10
<b>5</b>	<b>Aplicaciones</b>	10	10	10
	<b>Suma</b>	45	40	50
	<b>Orden de selección</b>	<b>90%</b>	80%	100%

Se destaca como la mejor elección, ya que muestra un porcentaje del 90%, superando a la alternativa más cercana que alcanza un 10% de diferencia. Por lo tanto, esta alternativa se caracteriza por tener un mejor rendimiento en términos de implementación y costo.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO Y SIMULACIÓN

En el presente capítulo se realiza el diseño CAD de diferentes procesos que componen la máquina como el dosificado, la estructura, el sistema de transporte. Además, los cálculos necesarios para su diseño. Por último, se comprueba el diseño para que sea el adecuado mediante los análisis estáticos con el fin de corregir puntos críticos en piezas. A partir del diseño se procede a la simulación.

#### 3.1 Diseño mecánico de la máquina

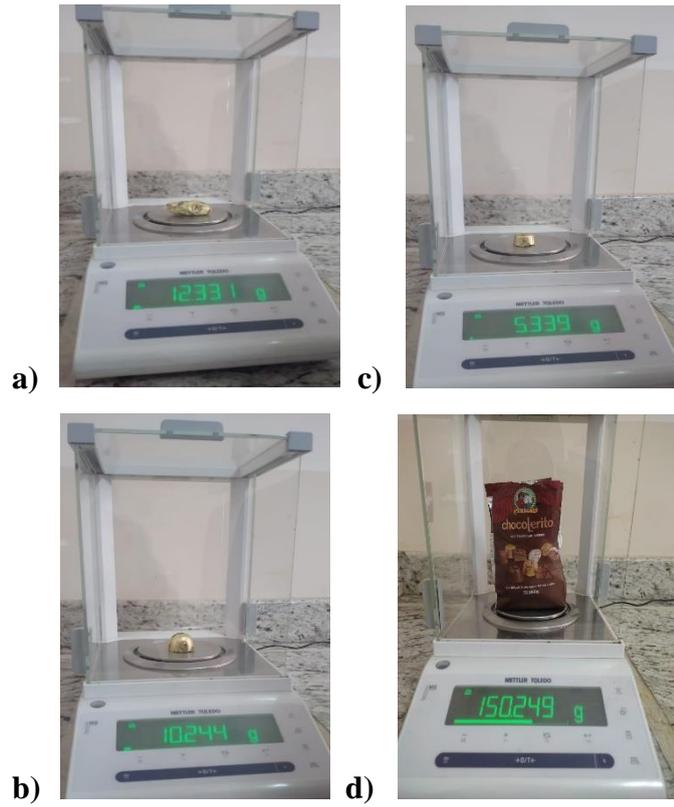
Dentro del diseño se toma como referencia el reglamento RTE INEN 131 que pertenece a la parte importante del prototipo a desarrollar ya que se escogió el material del acero inoxidable AISI 304 que evita la corrosión de piezas internas y externas.

La máquina está diseñada de forma correcta al proceso de dosificación a realizar es decir que la distribución es fácil y eficaz de entender por lo cual cada parte de la máquina es desmontable para cuando sea necesario hacer algún tipo de mantenimiento se lo puede hacer rápido y sencillo ya que brinda acceso fácil en caso de cambiar alguna pieza o alguna parte de la máquina.

La simulación de la máquina es en el programa SolidWorks que estableció la resistencia de materiales de las piezas más importantes en este caso es la tolva y la estructura para la confiabilidad del diseño de la máquina. En base a los datos de cada chocolate se realizó el cálculo para la realización del diseño, juntamente con sus pesos y densidades.

Se realizó una muestra en el laboratorio de química de la Universidad Politécnica Salesiana de varias fundas de Chocolates para obtener datos que se muestran en la Tabla 6, los cuales proporcionan el masa, densidad y volumen.

Como se observa en la Figura 18 la masa de cada chocolate que se cuantifico en la balanza de 1g a 0,1 mg de legibilidad por lo cual es un instrumento de pesaje exacto y resistente. Posteriormente, se presenta las imágenes del pesaje:



**Figura 18.** Pesaje de chocolates de cada tipo.

En la Figura 19 se muestra el volumen de cada chocolate determinado mediante un método experimental, utilizando un vaso de precipitación como se observa en las imágenes:



**Figura 19.** Medición de los volúmenes de los diferentes tipos de chocolates.

En la Tabla 11 se presenta cada tipo de chocolate con su respectiva masa y volumen para poder diseñar el sistema de almacenamiento (Tolva).

**Tabla 11.** Masa y volumen de los chocolates del producto Chocolerito.

Chocolates	Masa (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )
Trufa	12	10
Frey	10	8
Mediano	8	7
Pequeño	5	2

### 3.2 Sistema de almacenamiento (Tolva)

Este elemento mecánico se encarga de guiar los productos (chocolates), por lo cual su forma es similar a un embudo y esta pasa por bandejas de alimentación.

Para realizar el cálculo del volumen de diseño es a partir del dato de la Tabla 11 que son los datos de las medidas y capacidades de las tolvas para chocolates sólidos, es decir, el mínimo son los 20 kg que almacena la tolva, está dividida en 4 partes de 5 kg cada una.

En base a los volúmenes obtenidos de forma experimental, se determinó la densidad de cada chocolate.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Para el cálculo de la densidad de la trufa, el Frei, chocolate mediano y pequeño se reemplaza en la Ecuación (1):

La densidad del chocolate de la trufa se evidencia en las Ecuación (2):

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{12 \text{ g}}{10 \text{ cm}^3} & (2) \\ \rho &= 1\,200\,000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \\ \rho &= 1\,200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

La densidad del chocolate de la Frei se evidencia en las Ecuación (3):

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{10 \text{ g}}{8 \text{ cm}^3} & (3) \\ \rho &= 1\,250\,000 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \\ \rho &= 1\,250 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

La densidad del chocolate mediano se evidencia en las Ecuación (4):

$$\rho = \frac{8}{7} \frac{g}{cm^3} \quad (4)$$

$$\rho = 1\,142\,857.143 \frac{g}{m^3}$$

$$\rho = 1\,143 \frac{kg}{m^3}$$

La densidad del chocolate pequeño se evidencia en las Ecuación (5):

$$\rho = \frac{5}{2} \frac{g}{cm^3} \quad (5)$$

$$\rho = 2\,500\,000 \frac{g}{m^3}$$

$$\rho = 2\,500 \frac{kg}{m^3}$$

Donde:

- $\rho$ : Densidad
- m: Masa
- v: Volumen

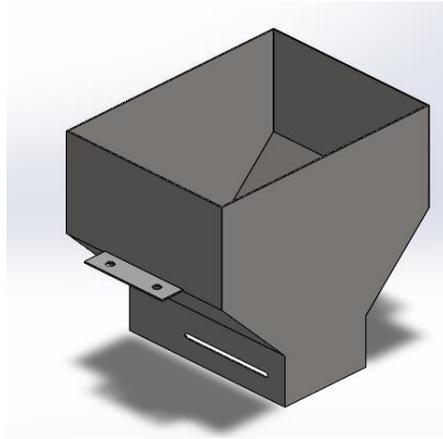
A partir de los resultados de las densidades de los productos se realiza un promedio, es decir los 4 chocolates con su respectiva densidad, la suma de estos y su respectivo resultado se muestra en la Ecuación (6).

$$\rho_{chocolate} = \frac{\left(1\,200 \frac{kg}{m^3} + 1\,250 \frac{kg}{m^3} + 1\,143 \frac{kg}{m^3} + 2\,500 \frac{kg}{m^3}\right)}{4} \quad (6)$$

$$\rho_{chocolate} = \frac{6093}{4} \frac{kg}{m^3}$$

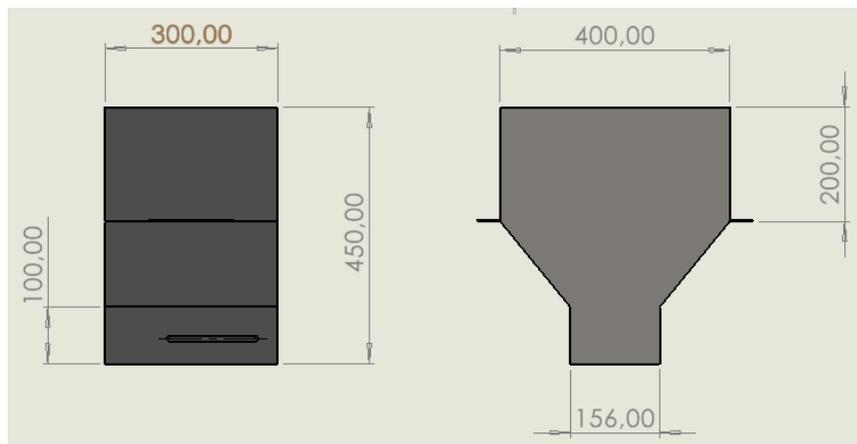
$$\rho_{chocolate} = 1523.25 \frac{kg}{m^3} \quad \rho_{chocolate} \approx 1523 \frac{kg}{m^3}$$

En la Figura 20 se observa el diseño de la tolva de almacenamiento, mediante los datos encontrados de capacidad y densidad de la tolva se procede a calcular el diseño.



**Figura 20.** Tolva general.

Como se visualiza en la Figura 21, el diseño de la tolva de almacenaje, con sus respectivas vistas de plano y medidas principales para conocer su diseño de mejor forma.



**Figura 21.** Vista lateral y frontal dimensiones de Tolva principal.

Posteriormente, el cálculo del Volumen de Diseño de la Tolva se muestra en la Ecuación (7):

$$V_{diseño} = \frac{C_T}{0.70 \times \rho_{chocolate}} \quad (7)$$

$$V_{diseño} = \frac{5 \text{ kg}}{0.70 \times 1523 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_{diseño} = \frac{5}{1066.1} \text{ m}^3$$

$$V_{diseño} = 0.00469 \text{ m}^3$$

Donde:

- $C_T$  = Capacidad de la tolva [kg]
- $\rho_{chocolate} = 1523 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Luego se calcula con la Ecuación (8), el Volumen de la Pirámide Trunca diseñada a partir de siguientes las dimensiones  $400 \times 300 \times 200 \text{ mm}$ ,  $L_1 \times L_2 \times h$  para la caja rectangular:

$$V_1 = L_1 \times L_2 \times h \quad (8)$$

$$V_1 = 400 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$$

$$V_1 = 24\,000\,000 \text{ mm}^3$$

$$V_1 = 0.024 \text{ m}^3$$

Donde:

- $L_1$ : Lado 1.
- $L_2$ : Lado 2.
- $h$ : Altura.

Para el volumen de la caja cónica se realiza el cálculo del área de la base mayor de la tolva como se muestra en la Ecuación (9):

$$A_B = 400 \times 300 \text{ mm}^2 \quad (9)$$

$$A_B = 120\,000 \text{ mm}^2$$

El cálculo de la base menor de la tolva se observa en la Ecuación (10):

$$A_b = 200 \times 300 \text{ mm}^2 \quad (10)$$

$$A_b = 46\,800 \text{ mm}^2$$

Donde:

- $A_B$ : Área de base mayor.
- $A_b$ : Área de base menor.

Considerando una altura  $h=250 \text{ mm}$ , para obtener el volumen la caja cónica se usa la ecuación (11):

$$V_2 = \frac{1}{3} h \times (A_B + A_b + \sqrt{A_B \times A_b}) \quad (11)$$

$$V_2 = \frac{1}{3} (250 \text{ mm}) \times (120\,000 \text{ mm}^2 + 46\,800 \text{ mm}^2 + \sqrt{120\,000 \text{ mm}^2 \times 46\,800 \text{ mm}^2})$$

$$V_2 = 20\,144\,997.99 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = 0.0201 \text{ m}^3$$

Para evitar tener un rebote del producto se desvaloriza el volumen de la caja rectangular  $V_1$  de la Ecuación (8), utilizando de tal manera el volumen de la parte cónica  $V_2$  de la Ecuación (11) para más seguridad. Entonces como se muestra en la Ecuación (12):

$$V_A = V_2 \quad (12)$$

$$V_A = 0.0201 \text{ m}^3$$

Donde se puede observar la Ecuación (13) cumple el requerimiento de la relación entre  $V_{\text{diseño}}$  de la Ecuación (7) y  $V_A$  de la Ecuación (12):

$$V_A > V_{\text{diseño}} \quad (13)$$

$$V_A = 0.0201 \text{ m}^3 > V_{\text{diseño}} = 0.00469 \text{ m}^3$$

### 3.2.1 Capacidad real de la Tolva

El cálculo de la capacidad real de la tolva se considera como el Factor (Espacios Vacíos)  $F_{ev}=0.4$  para sólidos gruesos, por la carga que tiene la tolva, los cuales son productos gruesos e irregulares, se muestra en la Ecuación (14).

$$C_{TR} = V_A \times \rho \times F_{ev} \quad (14)$$

$$C_{TR} = 0.0201 \text{ m}^3 \times 1523 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.4$$

$$C_{TR} = 12.2723 \text{ kg}$$

Donde:

- $C_{TR}$ : Capacidad real de la Tolva.

### 3.2.2 Flujo másico de la tolva

En la Ecuación (15) se muestra el flujo máximo de la tolva que se ha propuesto en el diseño es de  $5 \left[ \frac{\text{fundas}}{\text{min}} \right] = 0.0833 \left[ \frac{\text{fundas}}{\text{s}} \right]$  y la masa de chocolates  $m_f$  por funda es de 0.15 [kg], que es usado para el flujo de la masa.

$$\dot{M}_{\text{Diseño}} = \dot{T} \times m_f \quad (15)$$

$$\dot{M}_{\text{Diseño}} = 0.0833 \left[ \frac{\text{fundas}}{\text{s}} \right] \times 0.15 \text{ [kg]}$$

$$\dot{M}_{\text{Diseño}} = 0.0125 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Donde:

- $\dot{M}_{\text{Diseño}}$ : Flujo másico a la salida de la tolva.

### 3.2.3 Flujo másico del agujero de la tolva

Considerando el lado más pequeño de la tolva  $X = 0.156 \text{ m}$ , la constante general para tolvas planas  $m = 0$ , el valor de gravedad  $g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  y el ángulo de inclinación de la tolva  $\beta = 48.01$  [grados], se realiza la operación del flujo másico de la tolva haciendo uso de la Ecuación (16):

$$\dot{M} = \rho \times A \times \sqrt{\frac{X \times g}{2 \times (1 + m) \times \tan(\beta)}} \quad (16)$$

$$\dot{M} = 1523 \frac{kg}{m^3} \times 0.0468 m^2 \times \sqrt{\frac{0.156 m \times 9.8 \frac{m}{s^2}}{2 \times (1 + 0) \times \tan(48.01^\circ)}}$$

$$\dot{M} = 149.89 \frac{kg}{s}$$

Donde:

- $\dot{M}$ : Flujo Másico.
- $\rho$ : Densidad del material a Dosificar.
- A: Área de salida de la Tolva.
- X: Lado más pequeño de la Tolva.
- g: Gravedad.
- $\beta$ : Ángulo de inclinación de la tolva.
- m: Constante general para tolvas.

A partir de la masa determinada de 5 kg para cada tolva, se calcula el peso de esta, es decir la fuerza con la Ecuación (17):

$$W = F = m * a \quad (17)$$

$$F = 5[kg] * 9.81[m/s^2]$$

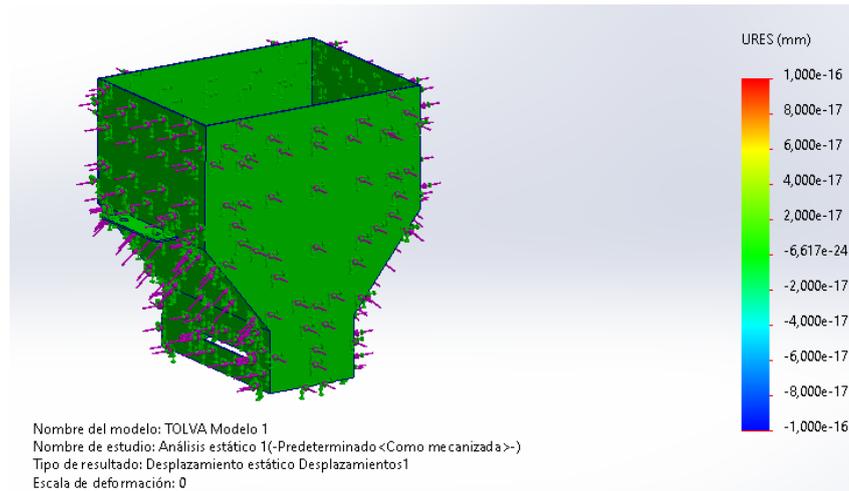
$$F = 49.05[N]$$

Donde:

- W: Peso de la tolva.
- m: Masa de las tolvas.
- a: Aceleración.

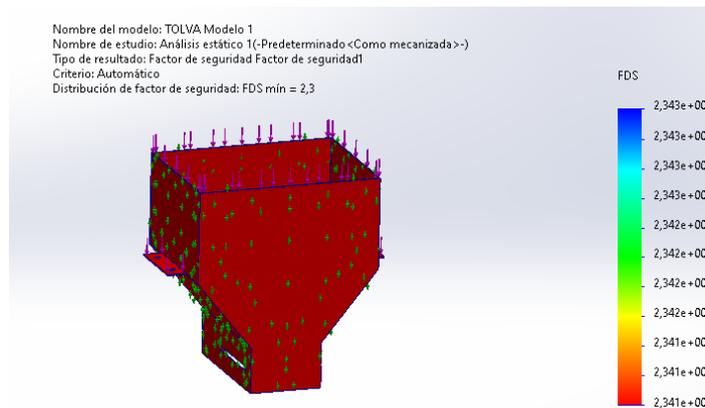
Para el diseño de la tolva se determinó que cada una tiene un almacenamiento de 5kg en total todas tienen 40kg por lo cual el análisis estático para ver el factor de seguridad y el desplazamiento de la tolva se ocupó el software SolidWorks.

El desplazamiento que se muestra en la Figura 22 representado en SolidWorks:



**Figura 22.** Tolva principal Análisis de Desplazamiento.

El factor de seguridad que se visualiza en la Figura 23 representado en SolidWorks:



**Figura 23.** Tolva general análisis Factor de seguridad.

### 3.3 Diseño del sistema de dosificación en la tolva de almacenamiento (Mecanismo engranaje y cremallera acoplada como compuerta)

Es un mecanismo de apertura y cierre mediante un sistema de cremallera y engranaje el cual es adaptado para la tolva en donde están los chocolates y van a ser depositados por lo cual este mecanismo es de vital importancia ya que se hace referencia a una puerta corredera que tiene un límite de llegada y uno de salida ya que la compuerta no se va a abrir completamente sino a la mitad para que sea más rápido y eficiente al momento de mostrar el mecanismo, por lo tanto su posición va a estar constantemente movida mediante la programación de los tiempos de apertura y cierre de la compuerta.

Para realizar la compuerta calculamos el engranaje a utilizar juntamente con la cremallera ya que estos dos deben ir a la par. Por lo tanto, este mecanismo se lo aplica a las 4 tolvas ya definidas.

Para el cálculo de los engranajes se partió del dato de la Tabla 12 que son los pasos diametrales estándar, en este caso escogimos el paso grueso 8 ya que directamente se estandariza de forma que los dientes y el ancho se efectivo para nuestro peso en cada tolva.

**Tabla 12.** Masa y volumen de los chocolates del producto Chocolerito [40].

Paso Grueso		Paso Fino	
2	6	20	80
2.25	8	24	96
2.5	10	32	120
3	12	40	150
3.5	16	48	200
4		64	

Se tomó como referencia un problema del libro de máquinas y mecanismos en el cual utiliza un engranaje recto ya que obtiene una posición horizontal precisa que es lo que necesitamos en nuestra compuerta.

### 3.3.1 Cálculo de paso diametral real engranaje

Considerando un engranaje recto con  $N = 20$ ;  $DP = 8$ , una cremallera con  $L = 10''$ ;  $DP = 8$  y una anchura de cara de  $0.4''$  se realiza el cálculo del paso diametral real del engranaje mediante la Ecuación (18):

$$DP = \frac{N}{PD} \quad (18)$$

$$8 = \frac{20}{PD}$$

$$PD = \frac{20}{8}$$

$$PD = 2,5''\emptyset$$

Donde:

- DP: Paso diametral estandar. Ver Tabla 12.
- PD: Paso diametral estandar real.
- N: Número de dientes.
- L: Número de dientes.

### 3.3.2 Cálculo altura de cabeza engranaje con cremallera

Para el cálculo de esta se utilizó la Ecuación (19) para conocer la altura de la cabeza del engranaje:

$$ADC = \frac{1}{DP} \quad (19)$$

$$ADC = \frac{1}{8}$$

$$ADC = 0,125''$$

Donde:

- ADC: Altura de cabeza
- DP: Paso diametral estandar tabla

### 3.3.3 Cálculo distancia al centro engranaje con cremallera

Para el cálculo de esta se utilizó la Ecuación (20) para conocer el centro del engranaje:

$$DC = \frac{PD}{2} \quad (20)$$

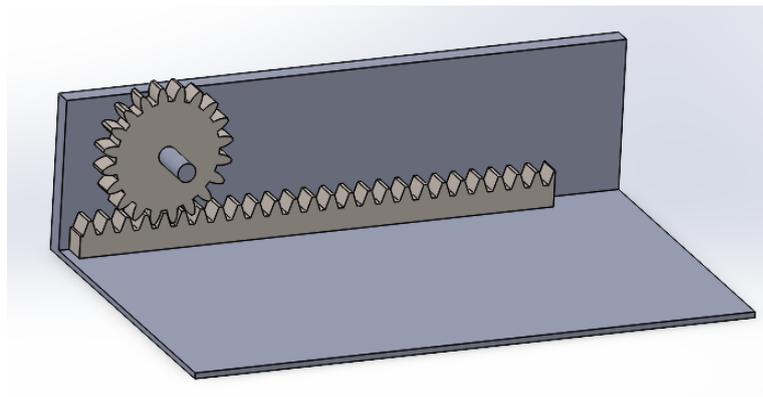
$$DC = \frac{2,5''}{2}$$

$$DC = 1,25''$$

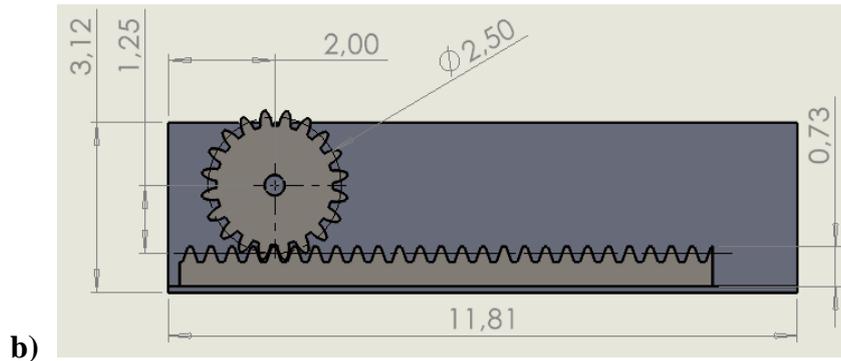
Donde:

- DC: Distancia al centro.
- PD: Paso diametral estandar real.

En la Figura 24 se muestra el diseño del sistema de transmisión del movimiento de la tolva de almacenamiento (Mecanismo engranaje y cremallera acoplada como compuerta), con sus respectivas vistas de plano y medidas principales para conocer su diseño de mejor forma.



a)



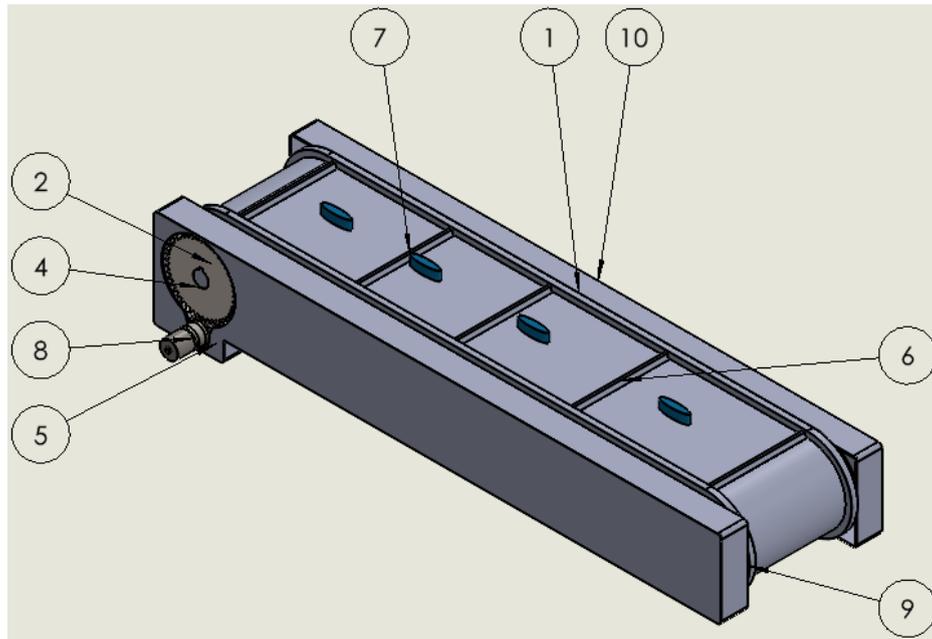
**Figura 24.** Mecanismo de engranaje y cremallera (Compuerta).

### 3.4 Diseño del sistema de transportación del producto (Banda transportadora)

La banda transportadora proporciona el flujo estable hacia la zona de recolección del producto es decir transporta la carga del chocolate hacia su trayectoria. Por lo general existen fabricantes de bandas que ya son estándar las cuales se encuentra en catálogos y se realiza de acuerdo con lo requerido para encontrar una opción óptima que permita facilidad, rapidez y eficacia.

En este caso se diseñó una banda transportadora parecida a la de una caja registradora de un supermercado ya que la velocidad necesaria es corta, lineal y aceptable para adaptarle al producto (chocolates). Está diseñada de forma que los chocolates se puedan distribuir correctamente y evitar que se puedan caer o que se pase uno a la tolva de recolección. Por otro lado, contiene perfiles empujadores los cuales soportan el producto y lo trabajan como perfiles de contención.

La Figura 25 muestra el sistema de transportación, que consta de una banda transportadora, seguido con dos rodillos que están sujetos dentro de la banda, los cuales tienen un mecanismo de giro con dos engranajes los cuales permiten el movimiento de la banda, contienen soportes en los carriles de la banda y tiene perfiles de contención transversales con laterales de contención. A partir del movimiento guiara de forma correcta al otro proceso de recolección de los chocolates.



**Figura 25.** Vista general del sistema de transportación (Banda transportadora).

En la Tabla 13 se especifica los elementos que constituye el sistema de transportación, que se usa ángulos tipo L para la unión con la estructura total de la máquina, además, este sistema utilizara un motor reductor para el movimiento continuo de la banda transportadora.

**Tabla 13.** Partes del sistema de transportación (Banda Transportadora).

Numero	Parte	Detalle
1	Banda juntamente con perfiles de contención laterales	Permite un mejor desplazamiento
2	Engranaje recto grande sujeto al rodillo con chaveta	Crear movimiento horario
3	Rodillo 1 con chaveta para colocar el engranaje	Sujeta los dos engranajes rectos
4	Engranaje recto pequeño sobre el eje del motor reductor	Permite una velocidad lineal de paso juntamente con el motor reductor
5	Perfil transversal de contención	Permite la contención y evita caídas de los chocolates
6	Diseño chocolate	Ayuda a visualizar el producto que se está trasportando
7	Motor reductor en el engranaje pequeño	Permite el arranque del movimiento de la banda
8	Rodillo 2 de soporte de banda	Facilita el movimiento de la banda juntamente con el rodillo 1
9	Soporte en los carriles de la banda	Se acopla a la estructura y cubre la banda de forma que no afecte su mecanismo

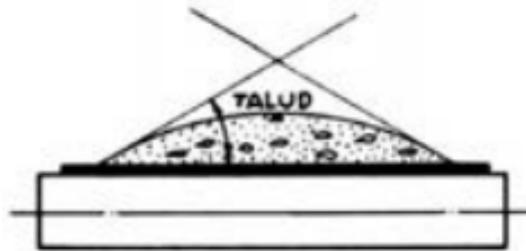
En este caso el artículo que se utilizó para realizar toda clase de cálculos se llama “Cálculo y Diseño de Cintas Transportadora del Ingeniero Industrial Hermenegildo Rodríguez Galbarro”. Permite conocer los parámetros que se debe seguir para el diseño de la banda transportadora y de qué forma influyen.

### 3.4.1 Cálculos del sistema de transportación (Banda Transportadora)

Para el cálculo del sistema de transportación se utilizó varios datos principales para continuar con el montaje de la banda transportadora y estos son los siguientes:

- Material de transporte: Chocolates con envoltura de aluminio
- Longitud de la banda:  $L = 800 \text{ mm}$  o  $8 \text{ m}$
- Pendiente de la banda:  $\varphi = 0^\circ$
- Altura de la banda:  $H = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$
- Ancho de la banda:  $B = 200 \text{ mm}$  o  $0.2 \text{ m}$
- Velocidad de avance banda:  $v = 0.80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

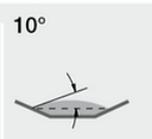
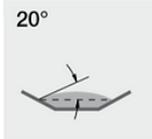
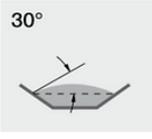
En la Figura 26 se representa el montaje del rodillo para conocer de qué forma es el montaje:



**Figura 26.** Rodillo Montaje Plano [41].

Como se muestra en la Tabla 14 cada ángulo de sobrecarga que caracteriza para dimensionar el rodillo que vamos a diseñar en este caso se utilizó el siguiente ángulo  $\beta = 30^\circ$  el cual es la sobrecarga del material al ser transportado por la banda, talud.

**Tabla 14.** Ángulo de sobrecarga, características de los materiales [42].

5°	10°	20°	25°	30°
				
Características del material				
Dimensión particular redondas muy pequeñas, muy húmedas, o muy secas como arena silíceo seca, cemento y hormigón húmedo, etc.	Particular redondeadas, secas y lisas, con peso medio como, por ejemplo, semillas de cereales, trigo y judías.	Material irregular, granular en tamaño de peso medio, como, por ejemplo, carbón de antracita, harina de semillas de algodón, arcilla, etc.	Materiales típicos comunes, como, por ejemplo, carbón bituminoso grava, la mayor parte de los minerales, etc.	Material irregular, viscoso, libros y que tiende a entrelazarse (virutas de madera, bagazos exprimidos), arena de fundición, etc.

Donde:

$\lambda = 0^\circ$ : ángulo de artesa que dispone los rodillos de la banda.

$l = 0.20$  m: longitud de los rodillos de la banda.

$B = 0.20$  m: Ancho de banda.

Por lo tanto, en la Ecuación (21) se observa que el ancho de la cinta es el mismo 0.2 m:

$$b = B = 0.2 \text{ m} \quad (21)$$

### 3.4.2 Sección transversal del área al ser transportada

En la Ecuación (22) la sección trasversal una medida importante en el diseño y análisis del sistema de transporte y manipulación de materiales es decir que se refiere al espacio ocupado por el material en la dirección perpendicular al flujo o movimiento de este.

Donde:

$$A = 0.25 \times \tan(\beta) \times [l + (b - l) \times \cos(\lambda)]^2 \quad (22)$$

$$A = 0.25 \times \tan(30^\circ) \times [0.20 + (0.20 - 0.20) \times \cos(30^\circ)]^2$$

$$A = 0.25 \times \tan(30^\circ) \times [0.20 + (0.40 - 0.18) \times \cos(30^\circ)]^2$$

$$A = 0.00577 \text{ m}^2$$

### 3.4.3 Capacidad volumétrica del transporte de una banda

La capacidad volumétrica se calcula a partir de la Ecuación (23) que garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y productivo del sistema de transporte.

$$Q_v = 3600 \times v \times A \times k \quad (23)$$

$$Q_v = 3600 \times 0.8 \frac{m}{s} \times 0.00577 m^2 \times 1$$

$$Q_v = 16.6277 m^3/h$$

Donde:

- $Q_v$ : La capacidad volumétrica.
- $v$ : La velocidad de avance.
- $A$ : Área de sección transversal del material transportado  $m^2$ .
- $k$ : Coeficiente de reducción por su inclinación.

La Ecuación (24) muestra la fórmula para el cálculo del coeficiente siempre y cuando se tenga un ángulo de inclinación, en el caso de que no exista no se aplica este coeficiente.

$$zk = 1.0 - 1.640 \times \left( \frac{\varphi \times \pi}{180} \right)^2 \quad (24)$$

- $\varphi$ : Ángulo de la pendiente de la banda ( $^\circ$ )

Esta banda transportadora estará horizontal entonces  $k = 1$

#### 3.4.4 Capacidad de transporte en masa

Como se observa en la Tabla 15 a partir de estos valores se calcula la densidad que deseo y su capacidad.

**Tabla 15.** Densidad de los chocolates.

Chocolates	Masa (g)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
A	12	1200
B	10	1250
C	8	1143
D	5	2500

A partir de los valores de la Tabla 15 se calcula el peso específico de cada chocolate con la Ecuación (25):

$$\gamma = \rho \times g \quad (25)$$

$$\gamma = 1200 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$\gamma = 11772 \frac{N}{m^3}$$

$$\gamma = 1.2 \frac{t}{m^3}$$

El peso específico del chocolate de la Frei se evidencia en la Ecuación (26):

$$\gamma = 1250 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \quad (26)$$

$$\gamma = 12262.5 \frac{N}{m^3}$$

$$\gamma = 1.25 \frac{t}{m^3}$$

El peso específico del chocolate mediano se evidencia en la Ecuación (27):

$$\gamma = 1143 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \quad (27)$$

$$\gamma = 11212.83 \frac{N}{m^3}$$

$$\gamma = 1.14 \frac{t}{m^3}$$

El peso específico del chocolate pequeño se evidencia en las Ecuación (28):

$$\gamma = 2500 \frac{kg}{m^3} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \quad (28)$$

$$\gamma = 24525 \frac{N}{m^3}$$

$$\gamma = 2.5 \frac{t}{m^3}$$

A partir de los resultados del peso específico de los productos se realiza un promedio, es decir los 4 chocolates con su respectivo peso específico, la suma de estos y su respectivo resultado se muestra en la Ecuación (29).

$$\gamma_{chocolate} = \frac{\left(1.2 \frac{t}{m^3} + 1.25 \frac{t}{m^3} + 1.14 \frac{t}{m^3} + 2.5 \frac{t}{m^3}\right)}{4} \quad (29)$$

$$\gamma_{chocolate} = \frac{6.09 \frac{t}{m^3}}{4}$$

$$\gamma_{chocolate} \approx 1.5225 \frac{t}{m^3}$$

La capacidad de transporte en masa se calcula empleando la Ecuación (30):

$$Q_m = Q_v \times \gamma \quad (30)$$

$$Q_m = 16.6277 \frac{m^3}{h} \times 1.5225 \frac{t}{m^3}$$

$$Q_m = 25.3157 \frac{t}{h}$$

### 3.4.5 Potencia de accionamiento de la banda transportadora

Para este cálculo es necesario usar las tablas estándar el Factor de longitud, Factor de ancho de la banda y servicio, estas se complementan para obtener el resultado correcto.

La Tabla 16 muestra el Factor de ancho de banda donde se escoge un  $C_b = 36$  de acuerdo con el peso específico de la Ecuación (29), con el cálculo de potencia del accionamiento de la banda.

**Tabla 16.** Factor de ancho  $C_b$  [44].

Peso específico $\gamma \left( \frac{t}{m^3} \right)$	Ancho de banda (mm)							
	300	400	500	650	800	1000	1200	1400
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227
$1 \leq \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320
$\gamma \geq 1$	-	65	86	103	144	241	360	414

La Tabla 17 muestra el Factor de longitud de banda donde se escoge un  $C_l = 222$  de acuerdo con la longitud determinada de la banda de 32 mm.

**Tabla 17.** Factor de longitud de banda y servicio  $C_i$  [44].

Longitud de banda (m)	32	40	50	63	80	90	100	150	200	250	300
$C_i$	222	192	167	145	119	109	103	77	83	53	47

El factor de servicio se muestra en la Tabla 18 donde se escoge un  $K_f = 1$  de acuerdo con las condiciones de trabajo de la banda transportadora.

**Tabla 18.** Factor de servicio  $K_f$  [44].

Condiciones de trabajo	$K_f$
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades.	1.17
Normal, condición estándar.	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad.	0.74 – 0.87
Temperaturas extremadamente bajas.	0.57

A partir de los datos de la Tabla 16, 17 y 18 se calcula la potencia la cual es necesaria para mover la banda en vacío o cargada, su posición horizontal de la banda haciendo uso de la Ecuación (31):

Potencia de accionamiento de la banda es necesario calcular mediante tablas estándar las cuales complementan para obtener el resultado correcto.

$$P_1 = \frac{C_b \times v + Q_m}{C_l \times K_f} \quad (31)$$

$$P_1 = \frac{36 \times 0.8 \frac{m}{s} + 25.3157 \frac{t}{h}}{222 \times 1}$$

$$P_1 = \frac{54.1157}{222}$$

$$P_1 = 0.244 \text{ kW}$$

Donde:

- $C_b = 36$
- $v = 0.80 \frac{m}{s}$
- $Q_m = 25.3157 \frac{t}{h}$
- $C_1 = 222$
- $K_f = 1.0$

En la Ecuación (32) se muestra la potencia que eleva la carga a una cierta altura.

$$P_2 = \frac{H \times Q_m}{367} \quad (32)$$

$$P_2 = \frac{1m \times 25.3157 \frac{t}{h}}{367}$$

$$P_2 = 0.06899 \text{ kW}$$

La estimación del consumo de potencia se calcula mediante la Tabla 19.

**Tabla 19.** Potencias adicionales de equipos auxiliares [43].

	Ancho de banda (m)	Potencia (kW)
Trippers, Par	$\leq 500$	$0.8 * v$
	$\leq 1000$	$1.5 * v$
	$\geq 500$	$2.3 * v$
<b>Tipo de contacto / presión</b>		
Dispositivos de limpieza, Pb	<b>Contacto simple</b>	$0.3 * B * v$
	<b>Contacto elevado</b>	$1.5 * B * v$
<b>Longitud <math>L_f</math> (m)</b>		
Guías de carga, Pc	<b>Desde punto de carga</b>	$0.6 * v * L_f$

Para el cálculo de la potencia debida a los trippers instalados se observa en la Ecuación (33):

$$P_a = 0 \text{ kW} \quad (33)$$

El valor de la Ecuación (33) es nulo ya que no se dispone de trippers instalados en la banda transportadora.

Para el cálculo de la potencia b se calcula mediante la Ecuación (34):

$$P_b = 0.30 * B * v \quad (34)$$

$$P_b = 0.30 \times 0.20 \text{ m} \times 0.80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_b = 0.048 \text{ kW}$$

Para el cálculo de la potencia debida a guías y faldones instalados se hace uso de la Ecuación (35):

$$P_c = 0.16 \times v \times L_f \quad (35)$$

$$P_c = 0.16 \times 0.8 \times 0.2$$

$$P_c = 0.0256 \text{ kW}$$

A partir de los valores de las Ecuaciones (33), (34) y (35) se calcula la potencia 3 empleando la Ecuación (36):

$$P_3 = P_a + P_b + P_c \quad (36)$$

$$P_3 = 0.048 + 0.0256$$

$$P_3 = 0.0736 \text{ kW}$$

Donde:

- $P_a$ : Potencia de los trippers instaladas (kW).
- $P_b$ : Potencia de los dispositivos de limpieza (kW).
- $P_c$ : Potencia de las guías y faldones instalados (kW).

Se reemplaza los valores de las Ecuaciones (31), (32) y (36) en la Ecuación (37) para el cálculo de la potencia total del accionamiento para la banda transportadora.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 \quad (37)$$

$$P_T = 0.244 \text{ kW} + 0.06899 \text{ kW} + 0.0736 \text{ kW}$$

$$P_T = 0.3866 \text{ kW}$$

### 3.4.6 Potencia total para la transmisión entre el tambor motriz y la banda será:

Como se muestra en la Ecuación (38) para calcular la potencia M:

$$P_M = \frac{P_T}{\eta} \quad (38)$$

$$P_M = \frac{0.3866 \text{ kW}}{0.91 \times 0.96}$$

$$P_M = 0.3377 \text{ kW}$$

Donde:

En la ecuación (39) se observa la formula del rendimiento con sus respetivos elementos.

$$\eta = \eta_m \times \eta_r \quad (39)$$

Donde

- $\eta_m = 0.910$
- $\eta_r = 0.960$

### 3.4.7 Resistencia mínima a la tracción de la banda

Se muestra los valores de factor de servicio en la Tabla 20 la cual se reemplaza dentro de la ecuación (40) para el cálculo del esfuerzo máximo a la tracción.

**Tabla 20.** Factor de Servicio  $C_1$  [43].

Recubrimiento de la cara inferior de la banda	V3, V5, U2, A5, E3			V1, U1, UH, U2H, V2H, V5H		
Ángulo de contacto, $a$ (en grados)	180°	210°	240°	180°	210°	240°
Tambor de acero liso						
Seco	1.5	1.4	1.3	1.8	1.6	1.5
Mojado	3.7	3.2	2.9	5.0	4.0	3.0
Tambor con forro de fricción						
Seco	1.4	1.3	1.2	1.6	1.5	1.4
Mojado	1.8	1.6	1.5	3.7	3.2	2.9

En esta Ecuación (40) se observa el esfuerzo máximo a la tracción:

$$F_b = \frac{P_T \times C_1 \times 1000}{v} \quad (40)$$

$$F_b = \frac{0.3866 \text{ kW} \times 1.4 \times 1000}{0.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$F_b = 676.53 \text{ N}$$

Donde:

- $P_T = 0.3866 \text{ kW}$
- $v = 0.80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $C_1 = 1.40$

En la Ecuación (41) se visualiza la resistencia mínima nominal de la banda:

$$R = \frac{F_b \times C_s}{B} \quad (41)$$

$$R = \frac{676.53 \text{ N} \times 10}{200 \text{ mm}}$$

$$R = 33.827 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Donde:

- $F_b = 1661 \text{ N}$
- $B = 200 \text{ mm}$

➤  $C_s = 10.0$

### 3.4.8 Coeficiente de seguridad de la banda por resistencia.

En la Tabla 21 se muestra las resistencias estándares las cuales se aplican en bandas textiles.

**Tabla 21.** Resistencias nominales  $R_N$  de las bandas textiles [43].

126 N/mm	160 N/mm	200 N/mm	250 N/mm	315 N/mm	400 N/mm	500 N/mm	630 N/mm	800 N/mm	1000 N/mm
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

A partir del valor de resistencia nominal estándar de 200 se calcula el coeficiente de seguridad por resistencia, en la Ecuación (42):

$$C_{seg} = \frac{200}{33.827} \quad (42)$$

$$C_{seg} = 5.91$$

### 3.4.9 Cálculo de tensiones de la banda

Las tensiones trabajan en realizar un análisis de estado estacionario y no estacionario para conocer que fuerza, ángulo y coeficiente se tiene para mejorar el trabajo de la banda.

#### ➤ Estado estacionario

A partir de la Ecuación (43) se calcula la fuerza tangencial del tambor motriz a la banda.

$$F_t = \frac{P_T \times 1000}{v} \quad (43)$$

$$F_t = \frac{0.3866 \text{ kW} \times 1000}{0.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$F_t = 483.25 \text{ N}$$

Donde:

- $P_T = 0.3866 \text{ kW}$
- $v = 0.80 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

### 3.4.10 Calculo tensiones en cada rama de la banda y del tambor motriz

Para las diferentes tensiones de cada rama de la banda se calculó a partir de la Ecuación (44) teniendo en cuenta la fricción, ángulos y el coeficiente.

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu \times \alpha} \quad (44)$$

Se calculó las tensiones de cada rama de la banda a partir Ecuación (45) teniendo en cuenta la fricción, ángulos y el coeficiente.

$$T_1 = F_t + T_2 \quad (45)$$

Donde:

- $T_1$ : Tensión mayor de la banda (N).

- $T_2$ : Tensión menor de la banda (N).
- $\mu = 0.4$ : Coeficiente de fricción de la banda y tambor.
- $a = \pi \text{ rad}$ : Ángulo de contacto de la banda y tambor motriz.

En la Tabla 22 se evidencian valores estándar del coeficiente de fricción de los cuales se escogió 0.4 por tener una superficie de tambor seca y con recubrimiento.

**Tabla 22.** Valores del coeficiente de fricción [44].

Superficie del Tambor	Sin Recubrimiento	Con Recubrimiento
Alta adherencia	0.35	0.45
Seca	0.35	0.40
Húmeda	0.20	0.35
Mojada	0.10	0.30

Entonces a partir de la Ecuación (44) se despeja para encontrar la Ecuación (46) que es la tensión del lado mayor de la banda.

$$T_1 = e^{0.4\pi} T_2 \quad (46)$$

Reemplazando la Ecuación (46) en (45) para realizar el cálculo de la tensión del lado menos tenso mediante la Ecuación (47):

$$e^{0.4\pi} T_2 = 483.25 + T_2 \quad (47)$$

$$(e^{0.4\pi} - 1) T_2 = 483.25$$

$$T_2 = \frac{483.25}{e^{0.4\pi} - 1}$$

$$T_2 = 192.26 \text{ N}$$

Para el cálculo de la tensión del lado menor de la banda se usa con la Ecuación (48):

$$T_1 = e^{0.4\pi} T_2 \quad (48)$$

$$T_1 = e^{0.4\pi} (192.26 \text{ N})$$

$$T_1 = 675.52 \text{ N}$$

### ➤ Estado No Estacionario

Se muestra la Ecuación (49) para el cálculo de la fuerza tangencial en el arranque:

$$F_{tA} = 1.6 F_t \quad (49)$$

$$F_{tA} = 1.6 (483.25 \text{ N})$$

$$F_{tA} = 773.2 \text{ N}$$

Se observa la Ecuación (50) para el cálculo del coeficiente de fricción de arranque del motor:

$$\mu_A = \mu + 0.05 \quad (50)$$

$$\mu_A = 0.4 + 0.05$$

$$\mu_A = 0.45$$

Se aplico la Ecuación (51) para el coeficiente de fricción mayorado de la nueva tensión  $T_{1A}$ :

$$T_{1A} = \frac{F_{tA} \times e^{\mu_A \times \alpha}}{e^{\mu_A \times \alpha} - 1} \quad (51)$$

$$T_{1A} = \frac{773.2 \times e^{0.45\pi}}{e^{0.45\pi} - 1}$$

$$T_{1A} = 1021.72 \text{ N}$$

Se aplico la Ecuación (52) para el coeficiente de fricción mayorado de la nueva tensión  $T_{2A}$  en los ramales de la cinta durante el período de arranque del motor:

$$T_{2A} = \frac{F_{tA}}{e^{\mu_A \times \alpha} - 1} \quad (52)$$

$$T_{2A} = \frac{773.2 \text{ N}}{e^{0.45\pi} - 1}$$

$$T_{2A} = 248.52 \text{ N}$$

### 3.4.11 Cálculo de velocidad y diámetro de giro del tambor motriz

El cálculo del diámetro del tambor es realizado con la Ecuación (53).

➤ Diámetro del tambor motriz.

$$D_{Tmin} = \frac{36 \times F_t}{\rho \times \pi \times a^\circ \times B} \quad (53)$$

$$D_{Tmin} = \frac{36 \times 483.25 \text{ N}}{1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times \pi \times 180^\circ \times 0.2}$$

$$D_{Tmin} = 0.08545 \text{ m}$$

$$D_{Tmin} = 85 \text{ mm}$$

Donde:

- $F_t = 483.25 \text{ N}$
- $a^\circ = 180^\circ$
- $B = 0.2 \text{ m}$
- $\rho = 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

En la Tabla 23, se escoge un diámetro normalizado para el tambor motriz de valor  $D_T = 200 \text{ mm}$ , el valor más cercano al calculado.

**Tabla 23.** Diámetros de tambores normalizados según la norma DIN-22101 [44].

200 mm	250 mm	320 mm
400 mm	500 mm	630 mm
800 mm	1000 mm	1250 mm
1400 mm	1600 mm	1800 mm
	2000 mm	

Cómo se observa en la Ecuación (54) se calcula la Velocidad de giro del tambor motriz.

$$n_T = \frac{v \times 60}{\pi \times D_T} \quad (54)$$

$$n_T = \frac{0.8 \frac{m}{s} \times 60}{\pi \times 0.2 m}$$

$$n_T = 76.39 \text{ rpm}$$

Donde:

$$v = 0.80 \frac{m}{s}$$

$$D_T = 0.25 \text{ m}$$

### 3.4.12 Cargas actuantes sobre el tambor motriz

A partir de la Ecuación (55) se calcula el esfuerzo del tambor motriz en el arranque.

$$F_{tA} = T_{1A} + T_{2A} \quad (55)$$

$$F_{tA} = 1021.72 \text{ N} + 248.52 \text{ N}$$

$$F_{tA} = 1270.24 \text{ N}$$

Donde:

$T_{1A}$ : La tensión del lado más tenso de la banda.

$T_{2A}$ : La tensión del lado poco tenso de la banda.

Se observa la Ecuación (56) para calcular el par motor en el arranque:

$$M_A = \frac{F_{tA} \times D_T}{2} \quad (56)$$

$$M_A = \frac{1270.24 \text{ N} \times 0.2 \text{ m}}{2}$$

$$M_A = 127.024 \text{ N.m}$$

Donde:

$$F_{tA} = 3118.76 \text{ N}$$

$$D_T = 0.250 \text{ m}$$

### 3.4.13 Selección de la resistencia nominal final de la banda

Para seleccionar la banda es necesario calcular la resistencia nominal ya que se refiere a la capacidad de la cinta para soportar cargas, tensiones y condiciones de trabajo en las que se encuentre, por lo tanto, a partir de la Ecuación (57) se verificara la adaptabilidad y la durabilidad de las condiciendo de trabajo a las que se encuentre sometidas la banda.

$$R = \frac{T \times C_s}{B} \quad (57)$$

$$R = \frac{1270.24 \text{ N} \times 10}{200 \text{ mm}}$$

$$R = 63.512 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Donde:

R: La resistencia nominal mínima de la banda (N/mm).

$T = 1270.24 \text{ N}$

$B = 200 \text{ mm}$

$C_s$ : Coeficiente de seguridad

De la Tabla 21 se selección una resistencia nominal de 200 N/mm.

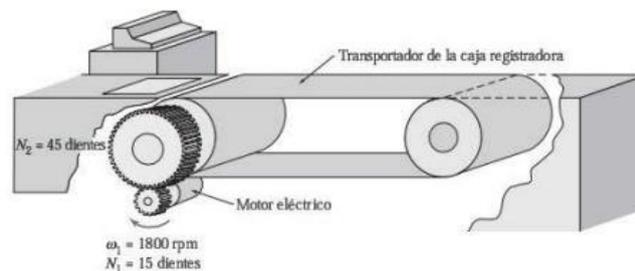
- Coeficiente de seguridad final de la banda por resistencia a la tracción se calcula a partir de la Ecuación (58):

$$C_{seg} = \frac{200}{63.512} \quad (58)$$
$$C_{seg} = 3.15$$

Finalmente, la banda se diseñó de acuerdo con los parámetros calculados anteriormente para tener un mejor rendimiento en todos los aspectos mecánicos importantes para que el sistema de trasportación sea eficaz y optimo.

### 3.5 Engranajes (grande y pequeño) para el movimiento de la banda

En este caso los datos a utilizar son los del ejemplo del “Libro de Máquinas y Mecanismos. Cuarta edición del autor Myszka, David H” el cual se relaciona a una banda trasportadora con engranajes que comúnmente se utilizan.



**Figura 27.** Transportador de la caja registradora ejemplo [40].

En la Figura 27 se muestra el ejemplo que se siguió con los datos de los dos engranajes rectos mediante un análisis de diferentes cargas se determina cada uno de los cálculos para el movimiento de la banda trasportadora.

A partir de este ejemplo se calcula lo siguiente:

#### Datos iniciales

- Velocidad angular 1:  $w_1 = 1800\text{rpm}$ .
- Número de dientes engranaje pequeño:  $N_1 = 15$  dientes.
- Número de dientes engranaje grande:  $N_2 = 45$  dientes.

### 3.5.1 Razón de velocidad

En la Ecuación (59) se representa la fórmula de la razón de velocidad para el cálculo de los engranajes:

$$VR = \frac{N_2}{N_1} \quad (59)$$

$$VR = \frac{45}{15}$$

$$VR = -3$$

Donde:

- VR: Razón de velocidad.
- $N_2$ : Número de dientes engranaje grande.
- $N_1$ : Número de dientes engranaje pequeño.

### 3.5.2 Velocidad angular del engrane impulsado

En la Ecuación (60) se representa la fórmula de la velocidad angular para el cálculo del engranaje impulsado:

$$w_2 = \frac{w_1}{VR} \quad (60)$$

$$w_2 = \frac{1800 \text{ rpm}}{(-3)}$$

$$VR = -600 \text{ rpm} = 600 \text{ rpm, en sentido antihorario}$$

Donde:

VR: Razón de velocidad.

$w_1$ : Velocidad angular de engranaje impulsor.

$w_2$ : Velocidad angular de engranaje impulsado.

### 3.5.3 Diámetros de paso

Como se muestra en la Ecuación (61) y (62) a partir de estas se calcula el diámetro de paso para encontrar un engranaje adecuado.

$$d_1 = \frac{N_1}{P_d} \quad (61)$$

$$d_2 = \frac{N_2}{P_d} \quad (62)$$

$$d_1 = \frac{15}{10} \quad ; \quad d_2 = \frac{45}{10}$$

$$d_1 = 1.5 \text{ in} \quad ; \quad d_2 = 4.5 \text{ in}$$

Donde:

- $N_1$ : Número de dientes engranaje pequeño.

- $d_1$ : Diámetro de paso de engranaje impulsor.
- $d_2$ : Diámetro de paso de engranaje impulsado.
- $P_d$ : Paso diametral.

### 3.5.4 Velocidad en la línea de paso

En la Ecuación (63) se representa la fórmula de la velocidad en la línea de paso para el cálculo del engranaje:

$$v_t = r_1 * w_1 \quad (63)$$

Donde:

$v_t$ : Velocidad en línea de paso.

$r_1$ : Diámetro de engranaje impulsor (paso).

$w_1$ : Diámetro de paso de engranaje impulsado.

Despejamos la ecuación para sacar cada uno de los valores faltantes.

Para el cálculo de paso de engranaje impulsor se emplea la Ecuación (64):

$$r_1 = \frac{1.5}{2} \quad (64)$$

$$r_1 = 0.75 \text{ in}$$

Para el cálculo del diámetro de engranaje impulsado se emplea la ecuación (65):

$$w_1 = (1800rpm) \left[ \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \right] \quad (65)$$

$$w_1 = 11309.7 \text{ rad/min}$$

En la Ecuación (66) se representa la fórmula de la velocidad en la línea de paso para el cálculo del engranaje:

$$v_t = r_1 * w_1 \quad (66)$$

$$v_t = (0.75 \text{ in}) * (11309.7 \text{ rad/min})$$

$$v_t = 8482.3 \text{ in/min}$$

Finalmente, para la Conversión de unidades se observa el cálculo de la Ecuación (67):

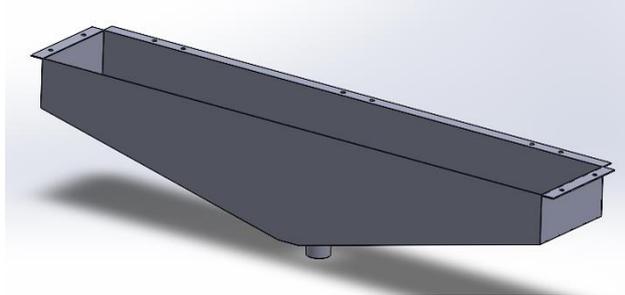
$$v_t = 8482.3 \frac{\text{in}}{\text{min}} * \left[ \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} \right] \quad (67)$$

$$v_t = 706.9 \text{ ft/min}$$

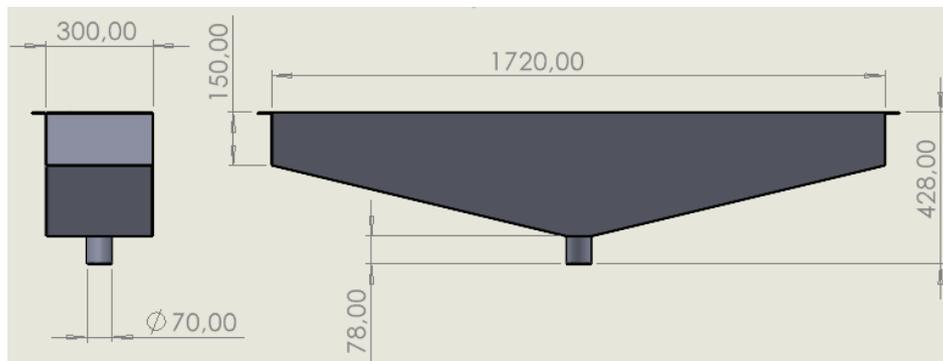
### 3.6 Diseño de tolva de recolección

La implementación del diseño como se muestra en la Figura 28 de este elemento cumple con una función simple pero no menos importante, se encarga de unir las bandas transportadoras con el sistema de detección del producto, está apoyada sobre la estructura total de la máquina y se encuentra debajo de las bandas para obtener una trayectoria del producto aceptable y correcta a

lo que se necesita. En la Figura 29 se observa la altura adecuada y el largo por lo cual tiene un agujero de salida que posibilita el flujo de los chocolates hacia la caja en donde los chocolates van a estar presentes siguiendo el proceso secuencialmente.



**Figura 28.** Tolva de recolección.



**Figura 29.** Vista lateral y frontal Tolva de recolección.

Posteriormente para realizar los cálculos se usa la Ecuación 68 para conocer de qué forma pone un valor correcto de la tolva de recolección, es necesario conocer una parte muy importante que es el desplazamiento de la partícula es decir el chocolate, en qué momento cae al cilindro tipo embudo de recolección, como se puede visualizar a continuación:

$$S = S_h + S_v \quad (68)$$

$$S = (V \times t) + \left(\frac{1}{2} \times a \times t^2\right)$$

Donde:

- S: Trayectoria del material [m]
- $V_{\text{lineal}}$ : Velocidad lineal  $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$
- t: Tiempo [s]
- a: Aceleración  $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$
- $S_h$ : Trayectoria Horizontal [m]
- $S_v$ : Trayectoria Vertical [m]

La velocidad promedio de la banda transportadora es  $V = 0.8 \left[ \frac{m}{s} \right]$ , y tiene un valor de la gravedad  $g = 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$  como aceleración ya que los chocolates tienden a caer en caída libre.

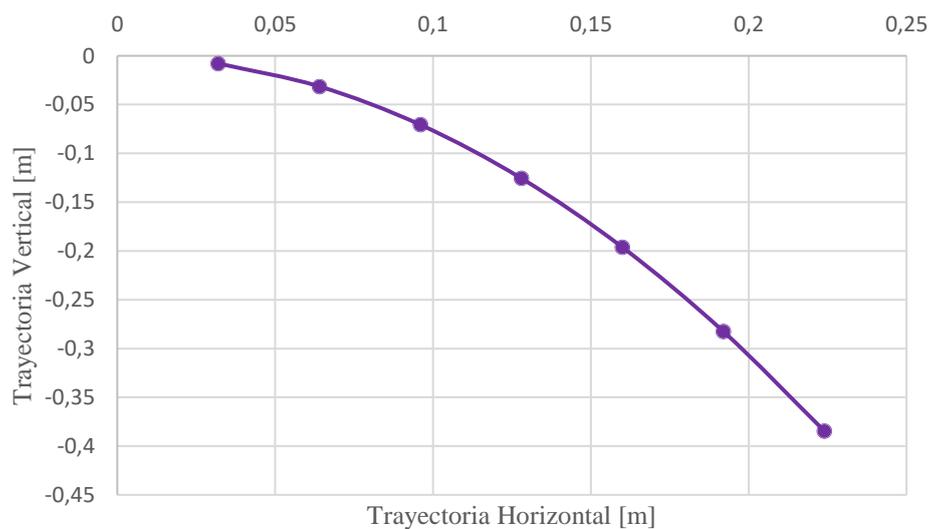
### 3.6.1 Cálculo de la trayectoria de descarga del chocolate con distintos tiempos:

En la Tabla 24 se presentan los datos seleccionados de acuerdo con el valor de velocidad de inicio de 0.8 por lo cual varía según el tiempo de trayectoria que se ponga dependiendo de la representación de como sea más apta para la descarga de los chocolates.

**Tabla 24.** Datos para la representación gráfica de la trayectoria de la descarga.

Tiempo [s]	$S_h$ [m]	$S_v$ [m]
0.04	0.032	0.007848
0.08	0.064	0.031392
0.12	0.096	0.070632
0.16	0.128	0.125568
0.2	0.16	0.1962
0.24	0.192	0.282528
0.28	0.224	0.384552

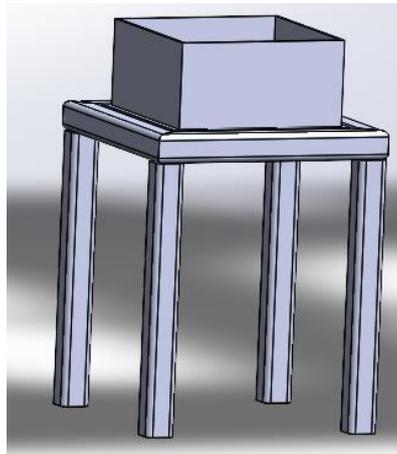
En la Figura 30 se observa la trayectoria que sigue el chocolate para hacer su descarga es decir que cuanto baja de forma vertical y horizontal para finalmente caer es su zona de descarga del producto.



**Figura 30.** Trayectoria de la descarga de chocolates.

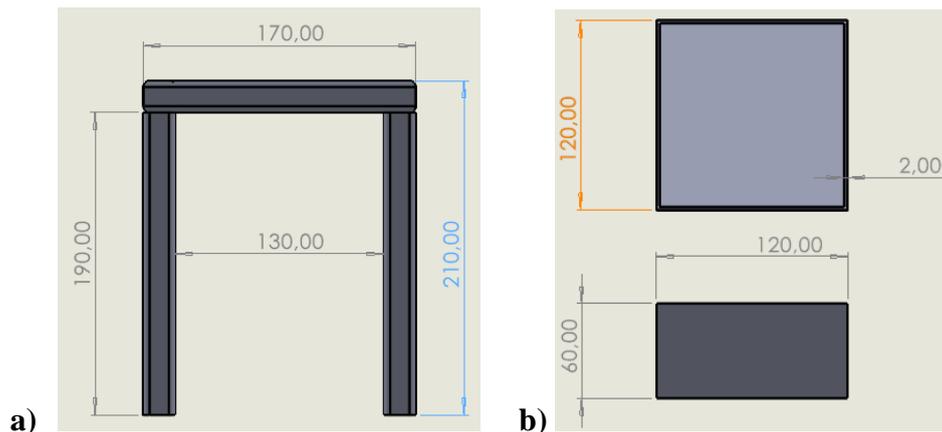
### 3.7 Diseño estructural tipo mesa con caja recolectora

Dentro del diseño de la máquina se utilizó para la recolección final en donde caen los chocolates mediante una trayectoria ya vista se conoce que permite tener una amplia gama de soportes en este caso se realizó una mesa como se muestra en la Figura 31, que recolecte todo los chocolates en una cajita por lo cual se va a obtener los 150gr requeridos en una caja la cual constantemente va a obtener el peso adecuado ya que en los procesos anteriores se aplica el control al detectar los chocolates y la detección del mismo, por lo tanto esto ayuda a garantizar un diseño adecuado, eficaz y aplicable.



**Figura 31.** Estructural tipo mesa.

En la Figura 32, el tipo de mesa con caja recolectora, con sus respectivas vistas de plano y medidas principales para conocer su diseño de mejor forma.



**Figura 32.** Vistas caja recolectora y Estructura tipo mesa.

### 3.8 Estructura de la máquina

Para el diseño de la estructura completa sujeta a varios elementos y componentes de la máquina es adecuado saber con qué material es recomendable hacer para la implementación en cada

tolva, en este caso se está utilizando Tubos de Acero Inoxidable 304 cuadrado para tener una alta resistencia y apto para el producto alimenticio, permita ser manejado de manera fácil y dure largas jornadas, como se visualiza en la Figura 33 el diseño total de la estructura metálica de la máquina dosificadora de chocolates.



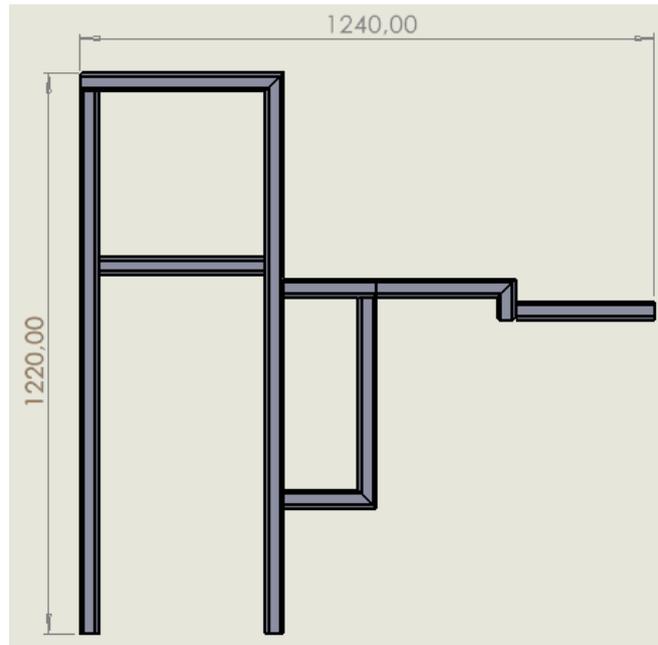
**Figura 33.** Estructura metálica de la máquina dosificadora de chocolates.

Se observa en la Figura 34 la vista de la estructura total, con su respectiva vista frontal y medidas principales para conocer su diseño de mejor forma.



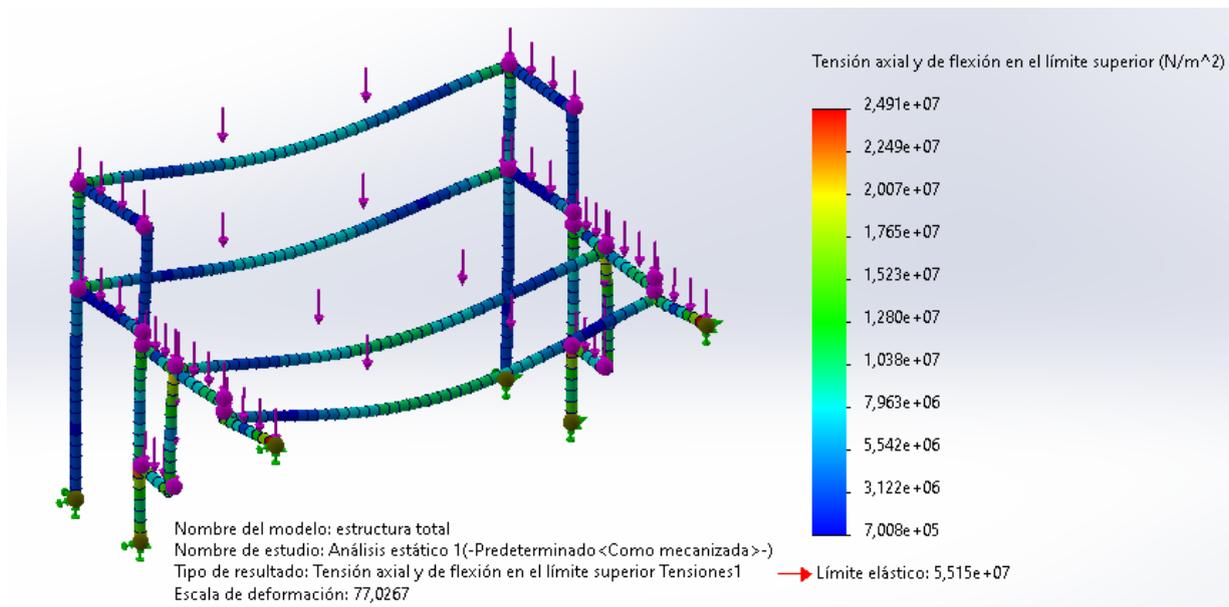
**Figura 34.** Vista frontal Estructura de la máquina dosificadora de chocolates.

Como se muestra en la Figura 35 la vista lateral de la estructura metálica con sus medidas principales para conocer su diseño de mejor forma.



**Figura 35.** Vista lateral estructura metálica dosificadora de chocolates.

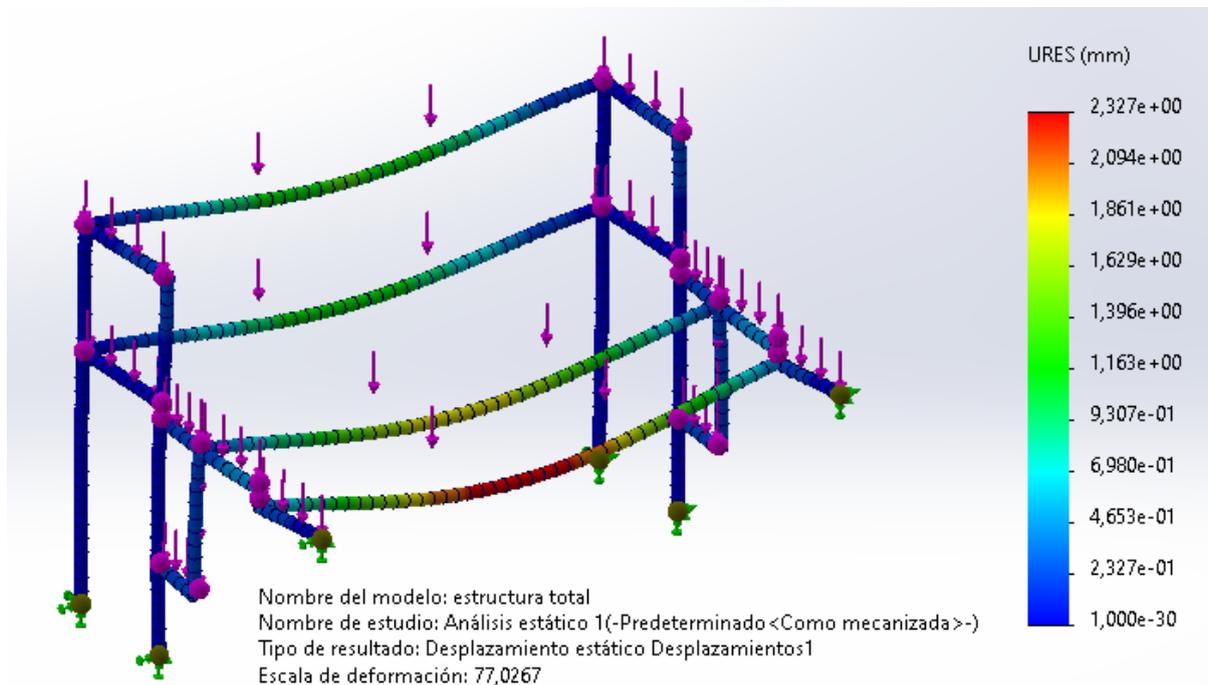
En la Figura 36 se muestra el análisis de tensiones de estructura, con su resultado tipo de tensión axial y flexión por lo cual su deformación indica un nivel moderado de desplazamiento o cambio en la forma original. Además, la capacidad de una estructura para soportar cierta deformación es un indicador de su flexibilidad y capacidad de absorber las fuerzas aplicadas sin llegar a su límite de falla.



**Figura 36.** Estructura mecánica Tensiones.

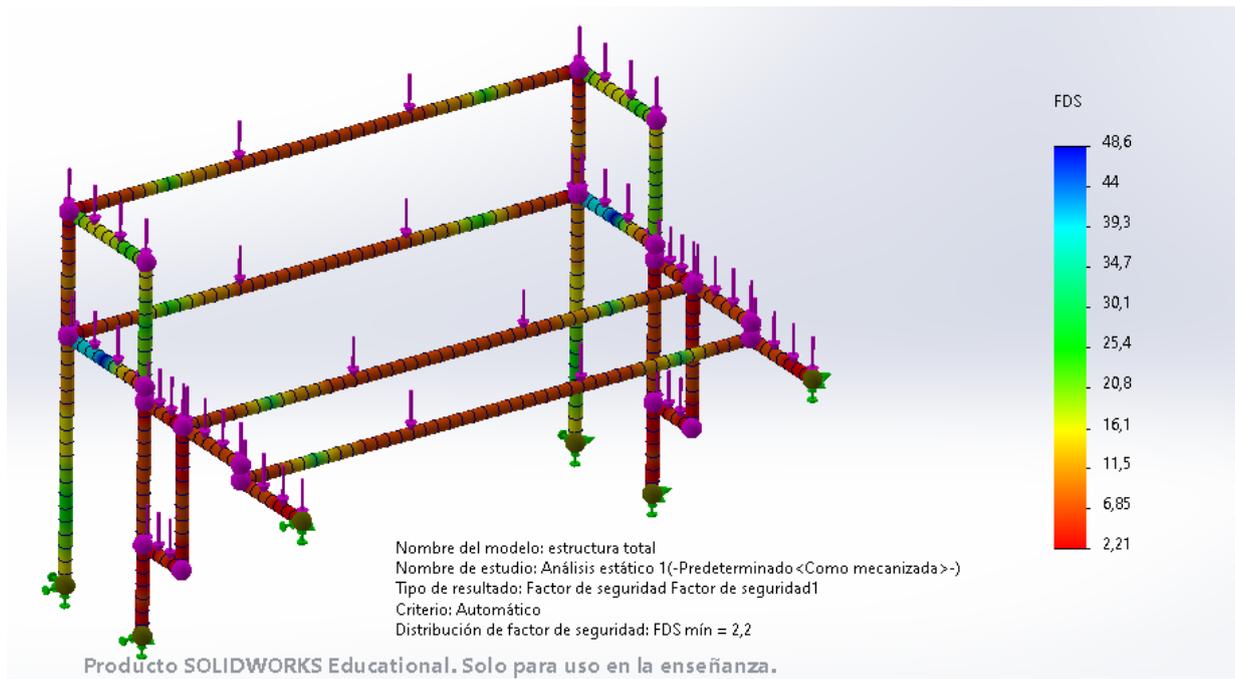
En la Figura 37 se muestra su deformación que indica un nivel moderado de desplazamiento o

cambio en la forma original.



**Figura 37.** Estructura mecánica Desplazamiento.

Como se observa en la Figura 38 la estructura metálica contiene un factor de seguridad del 2,2 que garantiza una alta confiabilidad y seguridad en su funcionamiento. También es capaz de soportar una carga 26 veces mayor que la carga máxima aplicada, por lo tanto, la resistencia y la carga máxima es clave para garantizar una estructura que se mantenga estable y sin deformaciones bajo condiciones de trabajo normales y eventuales picos de carga.



**Figura 38.** Estructura mecánica Factor de seguridad.

### 3.8.1 Cálculos de soldadura para la estructura

Para la soldadura de los tubos cuadrados de la estructura se opta por uniones de esquina o ángulo exterior.

- Para el espesor de la garganta se seleccionó los siguientes:  $a = 0.7 \times 3 \text{ mm}$  es  $a = 2.1 \text{ mm}$

Donde:

- Fuerza  $F = 20 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 196 \text{ kN}$
- Excentricidad  $e = 450 \text{ mm}$
- Altura  $h_1 = 1220 \text{ mm}$
- Altura  $h_2 = 488 \text{ mm}$
- Tensión ultima acero  $f_u = 110 \text{ MPa}$
- Coeficiente de minoración  $\gamma_{Mw} = 1.25$
- Coeficiente  $\beta_w = 0.85$
- Espesor de la garganta  $a_1 = a_2 = a_3 = 2.1 \text{ mm}$
- Longitud de la garganta  $L_1 = L_2 = L_3 = 40 \text{ mm}$

Para el cálculo de la Inercia se usa la Ecuación (69):

$$I = 2 \left( \frac{L_1 \times a_1^3}{12} + L_1 \times a_1 \times \left( \frac{h_1}{2} + \frac{a_1}{2} \right)^2 \right) + 4 \left( \frac{L_2 \times a_2^3}{12} + L_2 \times a_2 \times \left( \frac{h_2}{2} + \frac{a_1}{2} \right)^2 \right) + \frac{2 \times a_3 \times L_3^3}{12} \quad (69)$$

$$I = 62\,728\,254.96 + 20\,176\,756.32 + 22\,400$$

$$I = 82\,927\,411.28 \text{ mm}^4$$

$$I = 3.29 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

Donde:

- I: Inercia.
- $h_1, h_2$ : Altura.
- $a_1, a_2, a_3$

Se realiza la operación del Módulo resistente al cordón haciendo uso de la Ecuación (70):

$$W_c = \frac{I}{\frac{h_1}{2} + \frac{a_1}{2}} \quad (70)$$

$$W_c = 135\,712.9715 \text{ mm}^3$$

$$W_c = 1.36 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Donde:

$W_c$ : Módulo resistente del cordón

$h_1$ : Altura

$a_1$ : Espesor de la garganta

La tensión normal y tangencial se muestra en la Ecuación (71).

$$t_{n1} = 0 \text{ MPa} \quad ; \quad t_{a1} = 0 \text{ MPa} \quad (71)$$

Los Esfuerzos en la sección abatida se calcula con la Ecuación (72):

$$n_1 = \frac{F \times e}{W_c} \quad (72)$$
$$n_1 = \frac{196 \text{ N} \times 450 \text{ mm}}{1.36 \times 10^5 \text{ mm}^3}$$
$$n_1 = 0.65 \text{ MPa}$$

Donde:

$n_1$ : Esfuerzo en la sección abatida.

$t_{n1}$ : Tensión normal del plano abatido.

$t_{a1}$ : Tensión tangencial del plano abatido.

F: Fuerza.

e: Excentricidad.

$W_c$ : Módulo resistente del cordón.

A partir de los valores de las ecuaciones (71) y (72) se calcula los Esfuerzos de la garganta usando la ecuación (73):

$$\sigma_1 = \frac{n_1 + t_{n1}}{\sqrt{2}} \quad (73)$$
$$\sigma_1 = \frac{648 \ 529.41 \text{ Pa}}{\sqrt{2}}$$
$$\sigma_1 = 458 \ 579.54 \text{ Pa}$$
$$\sigma_1 = 0.46 \text{ MPa}$$

Donde:

$\sigma_1$ : Esfuerzo normal del cordón.

$n_1$ : Esfuerzo en la sección abatida.

$t_{n1}$ : Tensión normal del plano abatido.

El esfuerzo tangencial se calcula en dirección perpendicular con la Ecuación (74):

$$\tau_{n1} = \frac{t_{n1} - n_1}{\sqrt{2}} \quad (74)$$

$$\tau_{n1} = -\frac{648\,529.41\text{ Pa}}{\sqrt{2}}$$

$$\tau_{n1} = -458\,579.54\text{ Pa}$$

$$\tau_{n1} = -0.46\text{ MPa}$$

Donde:

$\tau_{n1}$ : Esfuerzo tangencial del cordón.

$n_1$ : Esfuerzo en la sección abatida.

$t_{n1}$ : Tensión normal del plano abatido.

El esfuerzo tangencial se calcula en dirección paralela con la Ecuación (75):

$$\tau_{a1} = t_{a1} = 0\text{ MPa} \quad (75)$$

Donde:

$\tau_{a1}$ : Esfuerzo tangencial en dirección paralela del cordón.

Para que el cordón sea resistente la soldadura sea buena, se rige la Ecuación (76):

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_{n1}^2 + \tau_{a1}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{Mw}} \quad (76)$$

A continuación, se calcula la tensión de comparación de Von Mises “solicitud” con la Ecuación (77):

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_{n1}^2 + \tau_{a1}^2)} \quad (77)$$

$$\sigma_{co} = 917\,159.09\text{ Pa}$$

$$\sigma_{co} = 0.92\text{ MPa}$$

En base a la Tabla 25 se realiza el cálculo de la ecuación (78) con un coeficiente de correlación:  $\beta_w = 0.85$ .

**Tabla 25.** Valores de Factor de correlación para redondeos de soldadura determinados por el Eurocódigo EN1993-1-8:2002 [44].

Factor de correlación $\beta_w$ para redondeos de soldadura			
Nivel Estándar y de acero			Factor $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN10219	
S 235	S 235 H	S 235 H	0.8
S 235 W			
S275	S 275 H	S 275 H	0.85
S 275 N/NL	S 275 NH/NLH	S 275 NH/NLH	
S 275 M/ML		S 275 MH/MLH	

S 355	S 355 H	S 355 H	
S 355 N/NL	S 355 NH/NLH	S 355 N/NLH	0.9
S 355 M/ML		S 355 MH/MLH	
S 420 N/NL		S 420 MH/MLH	1.0
S 420 M/ML			
S 460 N/NL	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH	
S 460 M/ML		S460 MH/MLH	1.0
S 460 Q/QL/QL1			

Para el cálculo de la resistencia con respecto al Acero Inoxidable 304, se usa la ecuación (78):

$$\frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{Mw}} = \frac{110}{1.25 \times 0.85} MPa \quad (78)$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{Mw}} = 103.53 MPa$$

A partir de los valores obtenidos en las ecuaciones (77) y (78) se deduce que el cordón de soldadura es resistente, ya que cumple con la condición mostrada en la ecuación (79):

$$\sigma_{co} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3(\tau_{n1}^2 + \tau_{a1}^2)} = 0.92 MPa \leq \frac{f_u}{\beta_w \times \gamma_{Mw}} = 103.53 MPa \quad (79)$$

Donde:

$\sigma_{co}$ : Tensión de comparación de Von Mises “solicitud”.

$\tau_{n1}$ : Esfuerzo tangencial en dirección perpendicular del cordón.

$\tau_{a1}$ : Esfuerzo tangencial en dirección paralela al plano del cordón.

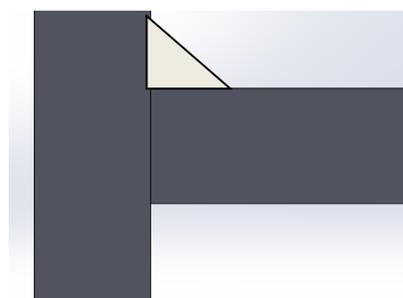
$\sigma_1$ : Esfuerzo normal.

$f_u$ : La resistencia a la tracción para soldar.

$\beta_w$ : El Coeficiente de función para soldar.

$\gamma_{Mw}$ : El Coeficiente parcial de seguridad.

En la Figura 39 se representa la soldadura de forma correcta.



**Figura 39.** Representación gráfica de la garganta de soldadura [45].

### 3.9 Cálculo Pernos para sujetar algunos elementos de la máquina

En la Tabla 26 se muestra las especificaciones en milímetros del tornillo seleccionado para las uniones atornilladas de la estructura, que es de la familia THE con un diámetro de 12” y una longitud de la parte roscada de 1”.

**Tabla 26.** Dimensiones geométricas del tipo de tornillo empleado en la unión.

Dimensiones geométricas del tipo de tornillo empleado en la unión					
Tipo de tornillo	Diámetro de la caña	Longitud parte roscada	Diámetro del agujero	Área neta del núcleo	Área resistente
THE	12.7 mm	25.4 mm	12.72 mm	76.2 mm <sup>2</sup>	84.3 mm <sup>2</sup>

A partir de la Tabla 27 se obtiene los valores de Área neta del núcleo y Área Resistente de la Tabla 26.

**Tabla 27.** Tabla de dimensiones normalizadas de Tornillos Ordinarios [46].

Tipo de Tornillo	Diámetro del Agujero (mm)	Área neta del núcleo (cm <sup>2</sup> )	Área resistente (cm <sup>2</sup> )
T 10	11	0.523	0.580
T 12	13	0.762	0.843
T 16	17	1.440	1.570
T 20	21	2.250	2.750
(T 22)	23	2.820	3.030
T 24	25	3.240	4.560
(T 27)	28	4.270	5.610

De acuerdo con la capacidad máxima de 20 kg de la Tolva se define un esfuerzo cortante en la Ecuación (80) de:

$$F_{v,Ed} = 196.2 \text{ N} \quad (80)$$

El esfuerzo axial se muestra en la Ecuación (81):

$$F_{t,Ed} = 20 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (81)$$

$$F_{t,Ed} = 196.2 \text{ N}$$

La unión atornillada al estar sometido simultáneamente a la acción de un esfuerzo cortante + axial, se rige a la condición de la Ecuación (82):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \times F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (82)$$

Donde:

$F_{v,Ed}$ : Esfuerzo de la unión atornillada.

$F_{v,Rd}$ : La resistencia tipo de tornillo empleado.

$F_{t,Ed}$ : El Esfuerzo axial unión atornillada.

$F_{t,Rd}$ : La resistencia a la tracción del tornillo empleado.

En la Tabla 28 se muestra los coeficientes de seguridad necesaria para el cálculo de la resistencia mediante la Ecuación (83).

**Tabla 28.** Coeficientes parciales de seguridad [46].

Coeficientes Parciales de Seguridad		
Tipo de Resistencia	Nomenclatura	Coefficiente de seguridad
Tornillo	$\gamma_{Mb}$	1.25
Roblones	$\gamma_{Mr}$	1.25
Bulones	$\gamma_{Mp}$	1.25
Deslizamiento	$\gamma_{Ms}$	1.25

A partir de los valores de la Tabla 26, conociendo la tensión última del tornillo que es  $800 \frac{N}{mm^2}$  y el coeficiente de seguridad para sujeciones atornilladas es 1.250 que muestra en la Tabla 28, se calcula la resistencia a cortante con la Ecuación (83):

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (83)$$
$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 \times 800 \frac{N}{mm^2} \times 84.3 mm^2}{1.25}$$
$$F_{v,Rd} = 32\,371.2 N$$

Donde:

$A_s$ : El área del tornillo.

$f_{ub}$ : La tensión del tornillo.

$\gamma_{Mb}$ : El Coeficiente de seguridad.

El esfuerzo cortante que actúa sobre la unión atornillada debe cumplir con la Ecuación (84):

$$F_{v,Rd} > F_{v,Ed} \quad (84)$$
$$F_{v,Rd} = 32\,371.2 > F_{v,Ed} = 196.2 N$$

A continuación, se calcula la resistencia de la pieza del tornillo que se hace uso en la Ecuación (85):

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times f_{ub} \times d \times t_e}{\gamma_{Mb}} \quad (85)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \times 800 \frac{N}{mm^2} \times 12.7 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}}{1.25}$$

$$F_{v,Rd} = 60\,960 \text{ N}$$

Donde:

d: El diámetro del tornillo.

t<sub>e</sub>: El espesor de la pieza.

f<sub>ub</sub>: La tensión del tornillo.

γ<sub>Mb</sub>: El Coeficiente de seguridad.

El número de la Ecuación (85) debe cumplir con la condición de la Ecuación (86):

$$F_{v,Rd} > F_{v,Ed} \quad (86)$$

$$F_{v,Rd} = 60\,960 \text{ N} > F_{v,Ed} = 196.2 \text{ N}$$

La resistencia a tracción de la unión se realiza mediante la Ecuación (87):

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{Mb}} \quad (87)$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \times 800 \frac{N}{mm^2} \times 84.3 \text{ mm}^2}{1.25}$$

$$F_{t,Rd} = 48\,556.8 \text{ N}$$

Donde:

A<sub>s</sub>: El área de tracción del tornillo.

f<sub>ub</sub>: La tensión de tracción del tornillo.

γ<sub>Mb</sub>: El coeficiente de seguridad.

El esfuerzo de tracción que actúa sobre la unión atornillada debe cumplir con la Ecuación (88):

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} \quad (88)$$

$$F_{t,Rd} = 48\,556.8 \text{ N} > F_{t,Ed} = 196.2 \text{ N}$$

Cuando el tornillo emplea tracción, es necesario realizar una comprobación del cabezal del tornillo, entonces se calcula con la Ecuación (89):

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \times \pi \times d \times t \times f_u}{\gamma_{Mb}} \quad (89)$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \times \pi \times 12.7 \text{ mm} \times 3 \text{ mm} \times 110 \frac{N}{mm^2}}{1.25}$$

$$B_{p,Rd} = 6\,319.88 \text{ N}$$

El valor de la Ecuación (89) debe cumplir con la condición de la Ecuación (90):

$$B_{p,Rd} > F_{t,Ed} \quad (90)$$

$$B_{p,Rd} = 6\,319.88 \text{ N} > F_{t,Ed} = 196.2 \text{ N}$$

A continuación, se demuestra la condición de la Ecuación (91):

$$\frac{196.2 N}{60\,960 N} + \frac{196.2 N}{1.4 \times 48\,556.8 N} \leq 1.0 \quad (91)$$

$$6.67 \times 10^{-3} \leq 1.0$$

Por lo tanto, la unión atornillada propuesta es válida.

### 3.10 Selección de sensor de detección

El sensor propuesto para realizar la detección que permita contar cada chocolate en las diferentes bandas es el **sensor ultrasónico UM30** como se observa en la Figura 40, lo cual emite un pulso de alta frecuencia (normalmente entre 80 kHz y varios cientos de kHz) que se envía al objeto detectado. Luego, el sensor mide el tiempo que tarda este pulso de energía acústica en viajar desde el sensor hasta el objeto y regresar. Además, este tipo de medición proporciona una detección y medición del alcance que no se ven afectadas por el color del objeto, y también es inmune a contaminantes como la suciedad, el polvo, la humedad y la niebla.



**Figura 40.** Detector sensor ultrasónico UM30 [24].

Existen sensores UM30 que ofrecen una amplia variedad de opciones en cuanto a rangos de funcionamiento y limitación, tiempos de salida y respuesta, así como frecuencias de conmutación como se observa en la Tabla 29. Los rangos más cortos están asociados con tiempos de salida y respuesta más rápidos, así como frecuencias de conmutación más altas. Los tiempos de respuesta se basan en la salida digital o analógica sin filtrar. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, si se aplica filtrado y suavizado a la salida analógica, dependiendo de la aplicación, el tiempo de respuesta podría incrementarse hasta un 200%.

**Tabla 29.** Comparación del rango de funcionamiento/límite, tiempo de salida/tiempo de respuesta de los sensores ultrasónicos UM30 [24].

Alcance de funcionamiento/alcance de limitación	Tiempo de salida/tiempo de respuesta	Frecuencia de conmutación
---	--------------------------------------	---------------------------

30 mm – 250 mm/ 350 mm	8 ms / 32 ms	25 Hz
65 mm – 350 mm/ 600 mm	16 ms / 64 ms	12 Hz
200 mm – 1,300 mm/ 2,000 mm	23 ms / 92 ms	8 Hz
350 mm – 3,400 mm/ 5,000 mm	43 ms / 180 ms	4 Hz
600 mm – 6,000 mm/ 8,000 mm	60 ms / 240 ms	3 Hz

Cabe recalcar que los sensores ultrasónicos se miden a tal distancia mediante un uso de ondas por lo tanto será más óptimo, en precio, rango, recepción de señal para que detecte los chocolates es el sensor ultrasónico VM18NNO que se observa en la Figura 41, su rango es adecuado para la medición en la banda y es el necesario y su precio es mucho más accesible.



**Figura 41.** Detector sensor ultrasónico VM18NNO [24].

Para realizar la detección de manera óptima, se seleccionó el sensor ultrasónico industrial VM18NNO, ya que su rango de distancia es amplio y su alta frecuencia de recepción permite una detección más rápida y precisa, lo cual es fundamental para el propósito buscado. Es importante destacar que este modelo tiene varias características que se muestra en la Tabla 30. Se adaptó toda la programación para que funcione de manera integrada con nuestro PLC, siendo detectado como una variable que opera de forma continua.

**Tabla 30.** Características del sensor ultrasónico VM18NNO [47].

Características Sensor Ultrasónico VM18NNO	
Frecuencia de operación: 300kHz	Tiempo de respuesta: 60,0 ms al 95 % del valor total
Temperatura de funcionamiento: Rango-22° a 158°F	Conexión eléctrica: Conector macho M12 de 4 pines

Descripción/Características especiales: A prueba de manipulaciones  
 Diámetro: 18 mm  
 Producción: 0 a 10 V CC  
 Tipo de circuito: Cosa análoga  
 Longitud: 3,06 pulgadas

Energía requerida: 15 a 24 V CC  
 Distancia de detección: 508 mm  
 Máx. Carga: 40mA  
 Material de la Caja: El plástico  
 Ancho: 0,71 pulgadas

### 3.10.1 Diagrama eléctrico del Sensor Ultrasónico VM18NNO

En la Figura 42 se observa el esquema eléctrico del sensor, sus pines y de cómo se alimenta ya que es necesario conocer para poner un tipo de protección eléctrica como es el fusible para una mejor recepción del elemento que sea correcta.

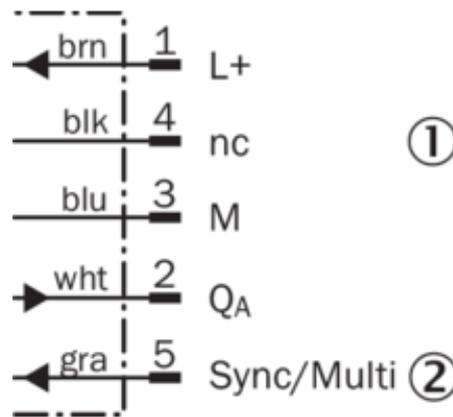


Figura 42. Diagrama eléctrico conexión Sensor Ultrasónico [48].

### 3.11 Elección de motores eléctricos

Para la elección de los motores eléctricos primero se va a utilizar en el primer caso para abrir y cerrar la compuerta se utiliza un motor a Pasos, en el segundo caso se aplica para la banda transportadora que se usa un motor reductor, en este caso para los motores se aplica el mismo cálculo en las 4 tolvas y las 4 bandas es decir que el peso es equivalente por lo cual no afecta a las demás. Por lo tanto, es necesario seleccionar un motor de acuerdo con las características, tipo, torque, condiciones de entorno y rango en el que trabaja (Voltaje, velocidades, corriente).

#### 3.11.1 Motorreductor con caja reductora JGA25-370

Este motor permite crear un mecanismo de dos engranajes en constante movimiento con una relación mecánica la cual permite que el motor se mueva en un solo sentido por lo cual esto se aplica a la banda transportadora que permite la movilización del producto (chocolates) hacia su sistema de detección de conteo y finalmente en la recolección de este, en este caso el motor es ideal ya que entrega un buen torque que es lo necesario para las bandas.

### 3.11.2 Diagrama de conexiones Motor con caja Reductora

Se ilustra en la Figura 43 el diagrama de conexiones para el motor con caja Reductora, que está conectado junto con nuestro PLC y su diagrama de potencia el cual consta de protecciones, contactores y las líneas de conexión. El voltaje de alimentación es de 12 (VDC). Para la protección del motorreductor se usa un guardamotor y un relé, evitando así posibles sobrecalentamientos y fallos del motor.



Figura 43. Esquema de conexión CadeSimu Motor Reductor.

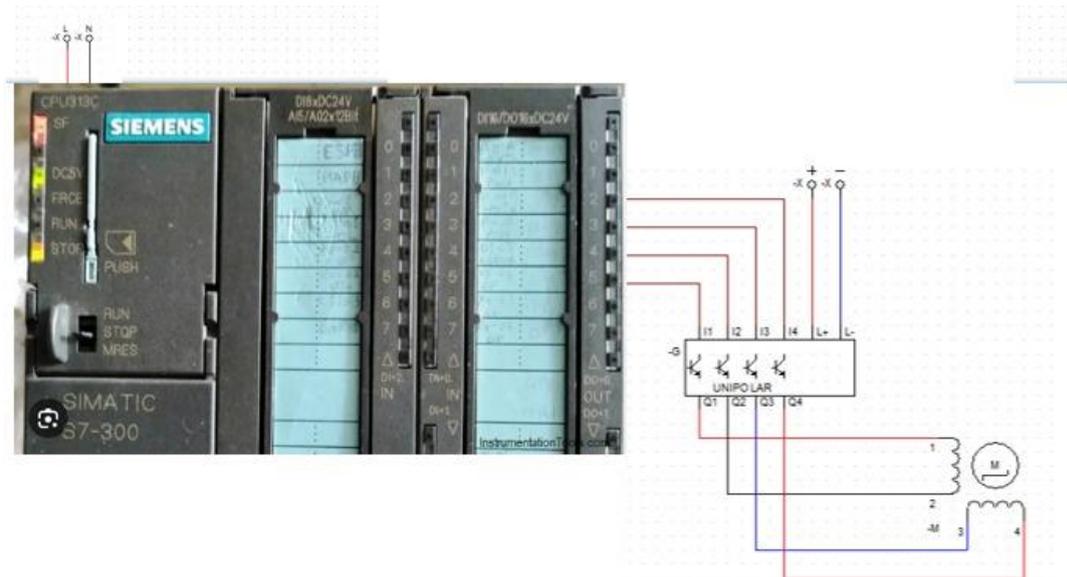
### 3.11.3 Motor a pasos MQOUO Nema 17

Este motor contiene un mecanismo con cremallera y engranaje que permite la apertura y cierre de la tolva ya que es como una compuerta por lo cual la ventaja de este motor es que es de construcción simple y resistente al entorno por lo cual contiene alto par a bajas de velocidades lo cual permite que funcione con el tiempo al ser dado por tal motivo su uso es aplicable en piezas de sujeción o posicionamiento que garantiza un óptimo funcionamiento.

### 3.11.4 Diagrama de conexión del Motor Paso a Paso

Se ilustra en la Figura 44 el diagrama de conexión para el motor paso a paso, el cual está conectado junto con nuestro PLC y su diagrama eléctrico el cual consta de las líneas de alimentación y Control On-Off. El voltaje de alimentación es de 24 (VDC).

El Driver TB6600 es un controlador utilizado para controlar motores a pasos. Los motores a pasos son dispositivos electromecánicos que convierten pulsos eléctricos en movimientos mecánicos discretos o pasos [49]. Actúa como un puente entre el sistema de control (como un microcontrolador o un PLC) y el motor a pasos. Su función principal es recibir señales de control y convertirlas en corriente y voltaje adecuados para alimentar el motor, permitiendo así el movimiento preciso y controlado del eje del motor a pasos.



**Figura 44.** Esquema de conexión CadeSimu Motor a pasos.

Cabe recalcar que para los dos motores utilizamos un control ON-OFF el cual permite la apertura y cierre de la compuerta (encendido y apagado), así también como para la banda ya que va en un solo sentido por lo cual es controlable de manera óptima por prender y apagar el sistema.

### 3.12 Sistema de control

Se utilizó el controlador SIMATIC S7-300 (CPU 313C-2 DP), ya que es apto para realizar el control de la máquina lo que se quiere automatizar de forma que reduzca tiempo y un trabajo óptimo, absolutamente flexible e integrable con programa TIA PORTAL.

El PLC Siemens S7 300 es una serie de controladores lógicos programables que ofrece un alto nivel de rendimiento, confiabilidad y flexibilidad. Esta serie ha sido ampliamente utilizada en aplicaciones industriales debido a su capacidad para manejar tareas complejas y de gran escala.

Se observa en la Tabla 31 las características del PLC que se encuentran a continuación:

**Tabla 31.** Características del PLC.

Parámetro	Valor
-----------	-------

CPU	313C-2 DP
Interfaz MPI+DP	Maestro DP o Esclavo DP
Comunicación S7	FB/FC cargables
Memoria de trabajo	128 KB
Salidas de pulsos	2,5kHz
Versión	24V
Canales de conteo y medición	30kHz

Una de las principales ventajas del S7-300 es su capacidad de expansión modular, lo que permite agregar módulos de entrada/salida y de comunicación para adaptarse a diferentes necesidades y requerimientos del proceso. Esta escalabilidad permite que el sistema de control se ajuste a medida que el proceso o la aplicación crecen o cambian. Esto significa que el S7-300 puede manejar aplicaciones más complejas o con un mayor número de variables y entradas/salidas, lo que lo hace más adecuado para proyectos industriales más grandes o exigentes.

Finalmente, el sistema de control es una solución automatizada óptima ya que el PLC Siemens S7-300 se puede proporcionar una mayor capacidad de procesamiento y expansión modular, lo que le convierte en una solución automatizada óptima para el sistema de control específico es decir optimizar la productividad y facilitar los campos de esta máquina de forma recreativa y rápida.

### **3.13 Diagrama de flujo de la máquina dosificadora de chocolates**

Se presenta un esquema que se ilustra en la Figura 45 el proceso de dosificación de los chocolates empieza con la puesta en marcha de la máquina, lo cual cada motor y el sensor se posicionan de forma correcta para comenzar ya el proceso.

Una vez que la máquina está en marcha, se empieza a introducir el producto en el sistema de dosificado. Presionando el botón START comienza el proceso, el producto para al mecanismo de apertura y cierre de la tolva para luego ser expulsado mediante el sistema de transportación (Banda Transportadora). Por otra parte, dentro del sistema de transporte se encuentra nuestro sensor que detecta la proximidad del chocolate y cuenta hasta llegar a los chocolates deseados en cada una de las tolvas, por lo cual es un proceso secuencial y recreativo ya que conforma un visualizador de forma sincronizada al proceso que se está realizando. De esta manera se repite el mismo proceso hasta pulsar el botón RESET.

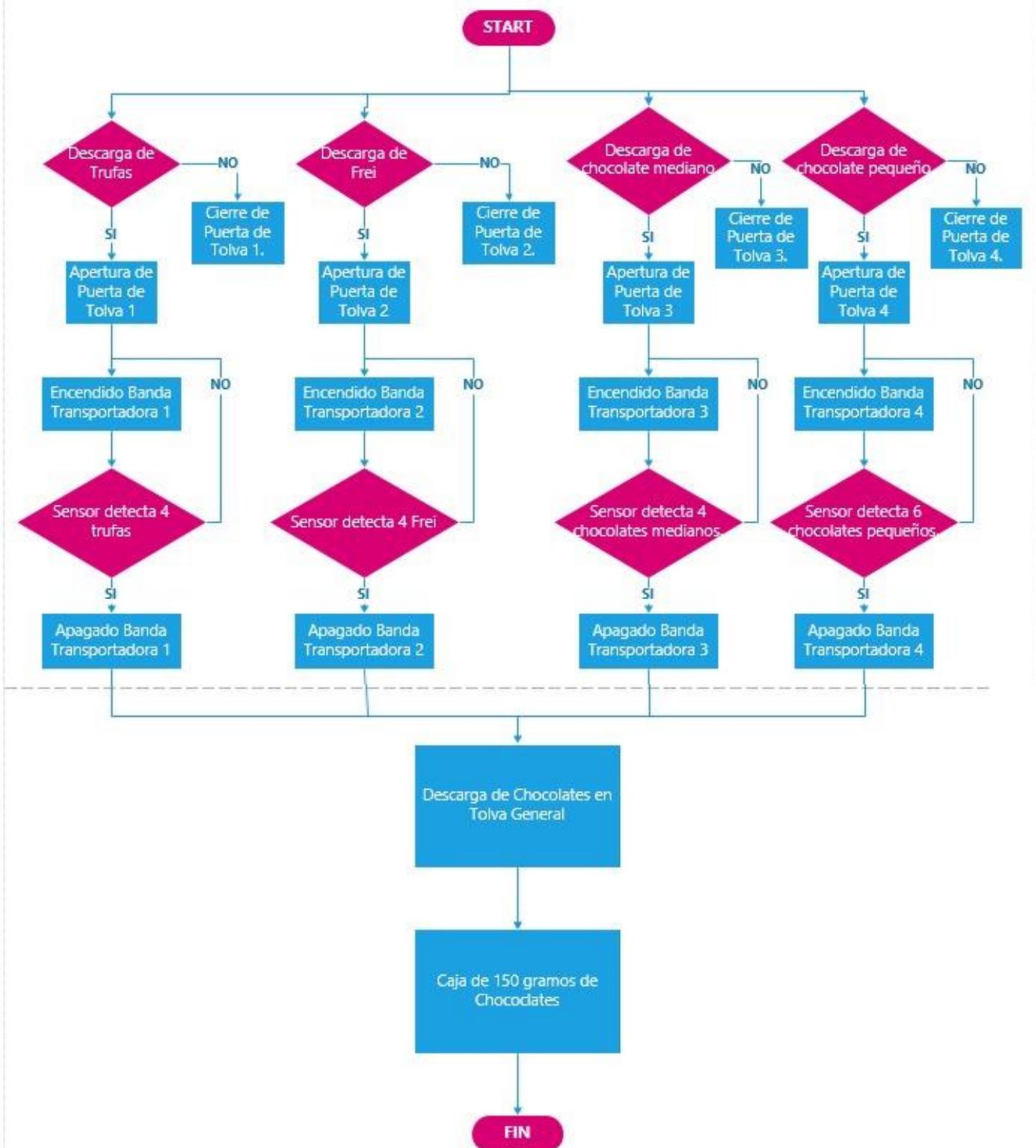


Figura 45. Diagrama de flujo del proceso de la maquina dosificadora de chocolates.

### 3.14 Diseño de la interfaz en el HMI

El HMI significa Interfaz Maquina-Humano de esta máquina es un KTP1000 Basic color DP, es seleccionado por su interfaz adecuada a nuestro PLC ya que es muy interactivo de manejar y permite mostrar varios componentes de manera didáctica para poder ilustrarlo, su costo es promedio y accesible. La conexión está dada a través de la interfaz ethernet, permitiendo una correcta comunicación con el PLC SIMANTIC S7-300 (CPU 313C-2 DP), además el diseño se lo realizo en el mismo software de la programación el TIA PORTAL. Su comunicación contiene MPI/PROFIBUS DP, su amplio rango de visualización es óptimo para el ser humano y contine una variedad de opciones para aplicar en el HMI.

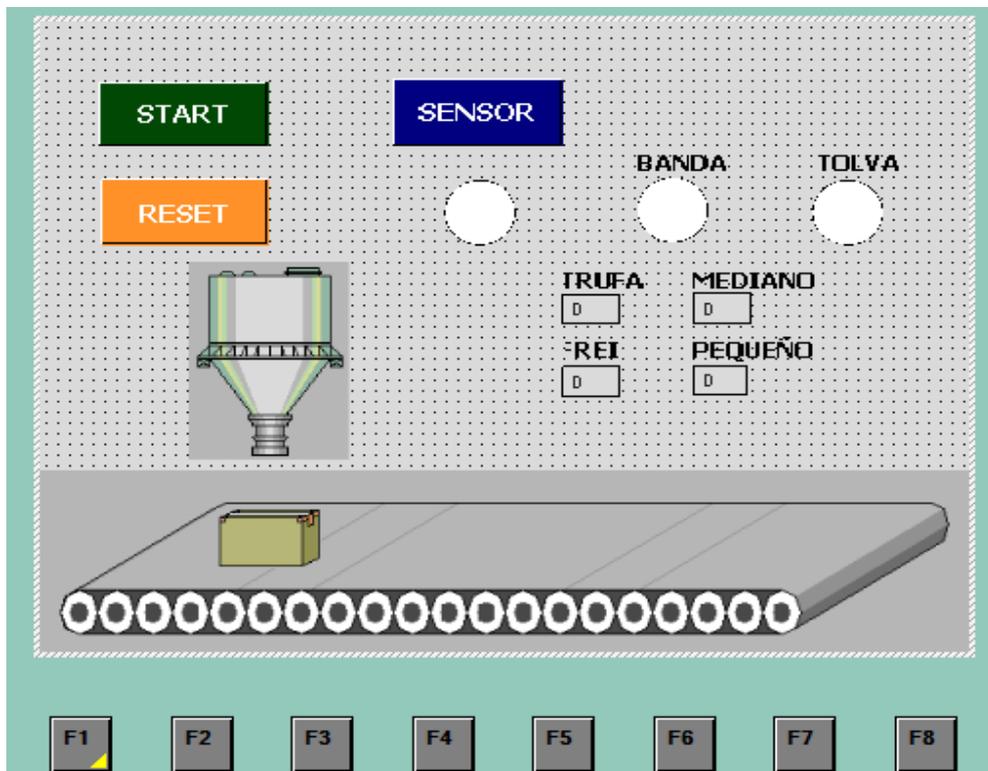
El diseño de la interfaz del usuario se implementó como una introduccion con se muestra en la Figura 46, con la finalidad de observar la cantidad de Chocolates contados de cada tolva, como también poder ver de forma didáctica como se mueve la banda con nuestro producto (chocolate).



Figura 46. Presentación de la Máquina Dosificadora de chocolates.

Se incluyó los pulsadores de START y RESET para inicializar el proceso de la máquina, como también la posibilidad de encender o apagar el sistema de dosificación, como se observa en la

Figura 47.



**Figura 47.** Pantalla HMI Proceso de la Máquina Dosificadora de chocolates.

Finalmente, en la Figura 48 se muestra una guía del proceso de cómo funciona cada botón y de qué forma interactiva la persona que lo va a manejar lo pueda entender mucho mejor.

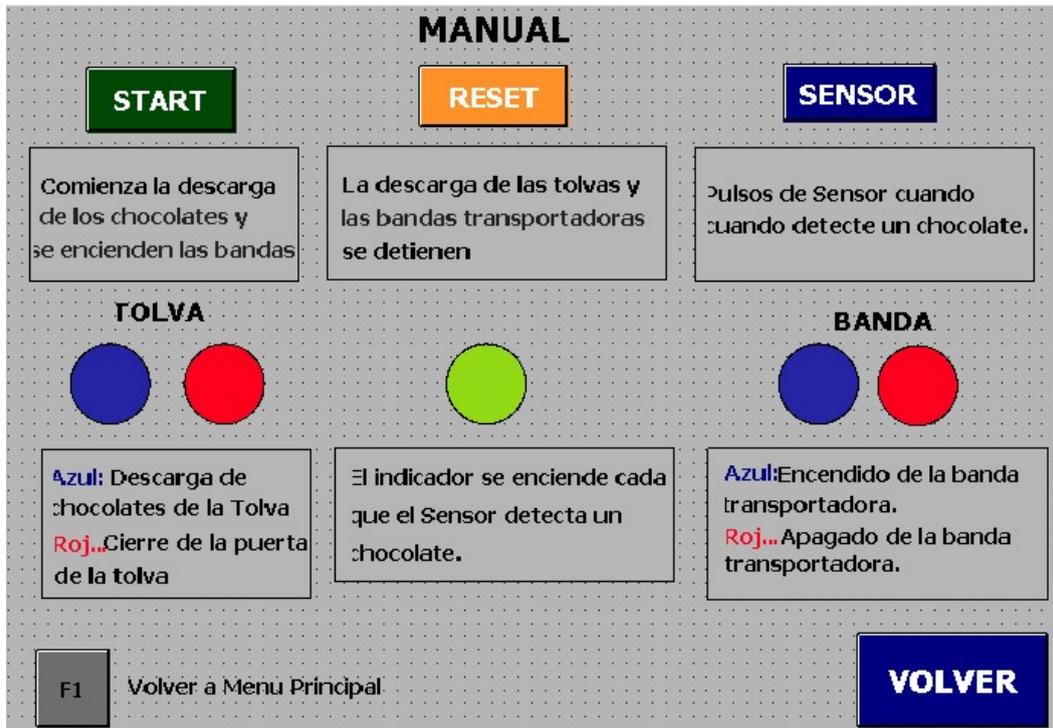


Figura 48. Guía Proceso de la Máquina Dosificadora de chocolates.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se analiza los resultados obtenidos en la simulación y el funcionamiento de la máquina.

#### 4.1 Análisis del proceso actual

En la parroquia de Guaranda, Salinas la fábrica de chocolates, turrone y muchos productos más aporta a cada uno de sus trabajadores ya que la economía y sus ganancias son para su gente es decir que optan un producto internacional en supermercados y en tiendas locales las cuales ganan mediante los productos del Salinerito.

Para el proceso de la clasificación de los bombones se los realiza respectivamente con cada peso de cada chocolate por lo cual es necesario verificar que cada bombón contenga el peso adecuado ya que al final la funda de chocolates debe tener un peso final de 150g es decir que cumpla con el requerimiento necesario para los operarios y gente que lo distribuye, es decir 4 productos (trufas: 12 gramos, frey: 10 gramos, chocolate mediano: 8 gramos, chocolate pequeño: 5 gramos), donde mediante un sensor de peso se expulsará a otra tolva con el peso necesario para sumar 150 gramos de producto, teniendo en cuenta una tolerancia de  $\pm 1$  gramos

donde el operario lo almacenará en una funda y luego la sellará manualmente.

#### 4.1.2 La selección de alternativas para el diseño de la máquina dosificadora

Las especificaciones del diseño de la máquina se exponen de manera resumida en la siguiente Tabla 32:

**Tabla 32.** *Especificaciones del diseño.*

Elemento de la máquina	Especificaciones de diseño
Material de la Máquina	Acero Inoxidable AISI 304
Dimensiones de la máquina	Alto: 1220 mm
	Ancho: 1800 mm
	Largo: 1240 mm
Densidad de cada chocolate	Promedio: $1523 \frac{kg}{m^3}$
Capacidad de la Tolva	Cap. Cada compartimiento: 12.27 kg
Volumen de la tolva	Cap. Total: 49 kg
	$0.0201 m^3$
Banda Transportadora	SH 1110 InterRoll
	Cap. de carga máx.: 35 kg/m
	Material: Polietileno
Sensor de distancia	HC SR04
	Rango de distancia: 2 cm a 4 m
	Alto: 250 mm
Tolva de recolección	Ancho: 1083.18 mm
	Desemboque: $\varnothing 70$ mm
	Velocidad de entrada: 60 rpm (4 polos)
Motorreductor con caja reductora JGA25-370	
Motor a pasos	MQOUO Nema 17
Tubo cuadrado	40x40 mm Stahligator
	Espesor: 2mm
	Largo: 6 m

El diseño mecánico de la máquina se analiza en distintas etapas para reconocer la necesidad de automatización en el proceso actual, por lo cual al reconocer la necesidad de automatizar se analizó distintas alternativas y se evaluó en base a características de ventajas y desventajas con respecto al proceso actual.

Entre los factores analizados dentro del diseño son: costo, operatividad, materiales en el mercado, facilidad del montaje, seguridad, área y energía, a los cuales se los evaluó con un puntaje del 1 al 10 dependiendo de la alternativa propuesta.

En base a las características propuestas, ventajas y desventajas de cada alternativa se definió el sistema de dosificación realizado en este trabajo de titulación, el cual es la dosificadora con un sistema de bandas transportadoras separadoras de chocolates.

Tal dosificadora posee fiabilidad al momento de ejecutar algún movimiento de la banda,

distribución de chocolates fácil y efectiva, el montaje de este sistema es desmontable, control automático, atractivo y operativo, requiere bajo mantenimiento, el tiempo de trabajo es menor y el producto se entrega de manera rápida, se puede adaptar a cualquier otro sistema como el sellado de fundas. Todas estas ventajas son la razón de la selección de esta alternativa para la automatización del proceso actual.

A continuación, se analizó el material para el diseño de la estructura, considerando que la máquina operará en el ambiente de una industria alimentaria, se tenía dos opciones, entre ellos el acero inoxidable AISI 304 y AISI 316, que presentan características de alta ductilidad, elasticidad, alta resistencia a la corrosión química, facilidad de limpieza y desinfección y alta tenacidad.

La tolva de almacenamiento se divide en 4 partes, partiendo de un peso de almacenamiento total de 20 kg, para el cálculo del volumen de diseño, por lo tanto, se tendrá en cada tolva una capacidad de 5 kg (para cada tipo de chocolate).

La tolva se compone de una caja cuadrada y una caja cónica, de las cuales se calculó el volumen de cada una, en donde se despreció el volumen de la caja cuadrada para evitar un rebote del producto y tener mayor seguridad en el diseño, teniendo como resultado que el volumen total de la tolva es  $V_2 = 0.0201 \text{ m}^3$ , posteriormente este volumen se corrigió aplicando Factor de espacios vacíos  $F_{ev}$  de 0,4, con la finalidad de comprobar si este diseño llegará a cumplir con los requerimientos mínimos de la capacidad real de la Tolva, cuyo resultado fue  $C_{TR} = 12.2723 \text{ kg}$ , el cual es mayor a 5 kg.

La interacción y la visualización del estado de la máquina dosificadora se realiza mediante un HMI KTP1000. El proceso comienza al pulsar START en la pantalla, permitiendo la descarga de cada tipo de chocolate, tolva 1 contiene trufas, tolva 2 contiene Frei, tolva 3 contiene chocolates medianos, tolva 4 contiene chocolates pequeños. La puerta de la tolva se abre durante 15 segundos, y los chocolates caen sobre su respectiva banda transportadora, al transcurrir el tiempo determinado la puerta de la tolva se cierra.

Los chocolates se desplazan en su respectiva banda transportadora, las cuales se encienden al iniciar el proceso con el pulsador START del HMI. En este proceso de transporte, un sensor se encarga de realizar un conteo determinado de cada tipo de chocolate, 4 trufas de 12 gr, 4 Frei de 10 gr, 4 chocolates medianos de 8 gr, 6 chocolates pequeños de 5 gr. En el HMI, se visualiza mediante un indicador del sensor el conteo de cada chocolate. El sensor al realizar el conteo de la respectiva cantidad de cada chocolate provoca que las bandas transportadoras se detengan y

que los chocolates determinados se almacenen en una tolva de recolección.

La sumatoria de la cantidad de chocolates establecido da como resultado 150 kg que se requiere en la funda “Chocolerito”. A partir de la tolva de recolección, la cantidad deseada de chocolates se almacena en una caja para que el operario lo recoja y lo coloque en su respectiva funda.

#### 4.2 Resultados

En este análisis, se busca identificar patrones, tendencias y relaciones entre estas dos variables con el fin de mejorar la eficiencia y precisión del proceso, se proporcionó una comprensión del comportamiento del proceso más profunda para que se desarrolle de manera efectiva y eficaz. Se realizó los resultados de la simulación mediante variables de tiempo/peso que se muestra en la Tabla 33:

**Tabla 33.** Datos tiempo del proceso de dosificación.

Tiempo (s)	Peso (gr)
10.98	150
15.57	150
12.39	150
15.22	150
11.19	150

Promedio de datos de tiempo recolectados:

$$t_{promedio} = \frac{10.98 + 15.57 + 12.39 + 15.22 + 11.19}{5}$$

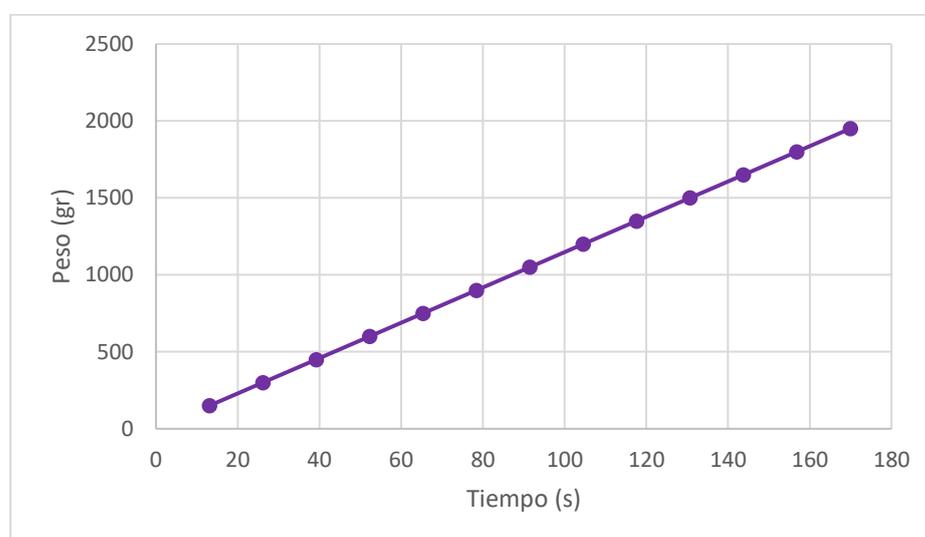
$$t_{promedio} = 13.07 \text{ s}$$

En la Tabla 34 se observa una estimación del tiempo por cantidad de las fundas para ver si es óptimo el proceso.

**Tabla 34.** Estimación de tiempo por cantidad de fundas de chocolates.

Tiempo (s)	Peso (gr)	# de fundas
13	150	1
26	300	2
39	450	3
52	600	4
65	750	5
78	900	6
91	1050	7
104	1200	8
117	1350	9
130	1500	10
143	1650	11
156	1800	12
169	1950	13

La máquina por la dosificación de cada funda tarda 13 segundos, tiempo basado en simulación realizada en Tía Portal con HMI. La máquina dosificadora tiene una capacidad de 20 kg en total, por lo tanto, se realizó una tabla en donde se evidencia, que aproximadamente se demora cada 169 segundos equivalente a 3 min, la máquina en obtener 13 fundas de chocolates de 150 gramos. En esta parte se evidencia la reducción de tiempo con respecto a la dosificación que se realiza manualmente en la empresa “Salinerito”. Se observa en la Figura 49 la gráfica, tomando en cuenta la relación de tiempo con el número de fundas obtenidas. En 24 horas de trabajo de la máquina se pueden obtener 6240 fundas diarias.



**Figura 49.** Grafica Tiempo vs Peso.

### 4.3 Análisis económico de la máquina

Se analizó los gastos económicos que tuvo la máquina, incluyendo los materiales, componentes eléctricos y manos de obra.

En la Tabla 35 se muestra los materiales y componentes con su respectivo precio.

**Tabla 35.** Cotización de materiales y componentes.

Material/Componente	Precio
Plancha de Acero Inoxidable 304	\$ 207.22
PLC S7 300	\$ 2407.98
HMI KTP1000	\$ 359.65
Tubos cuadrados Acero Inoxidable 304	\$ 61.64
Engranajes	\$ 177
Pernos	\$ 1
Poliéster	\$ 0.75
Motor con caja reductora JGA25-370	\$ 16

Motor a paso MOQUO Nema 17	\$ 25.90
TB6600 Driver Para Motor a Pasos 4A Nema	\$ 162.00
Sensor Ultrasónico Industrial	\$ 212.28
Ángulo tipo L de acero inoxidable	\$ 38.62
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 3670,04</b>

#### 4.3.1 Construcción mecánica

Se detalla la lista de elementos ocupados como se muestra en la Tabla 36 del diseño de construcción mecánica, con su costo correspondiente.

**Tabla 36.** *Costos de la construcción mecánica.*

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio por unidad [\$]</b>	<b>Precio Total [\$]</b>
3	Plancha de acero inoxidable 304	207.22	621.66
3	Tubos cuadrados (6 m)	61.64	184.92
1	Ángulo tipo L de acero inoxidable (6m)	38.62	38.62
1	Engranajes Ø1.5 in	17.55	17.55
1	Engranaje Ø4.5 in	28.85	28.85
30	Pernos ¼ in-20 in ½ in	0.32	9.6
160	Poliéster (1 m)	0.75	120
	<b>TOTAL</b>		<b>1021.2</b>

#### 4.3.2 Construcción eléctrica y de control

Se detalla la lista de elementos ocupados como se observa en la Tabla 37, con su costo correspondiente:

**Tabla 37.** Análisis de costos de la construcción eléctrica y de control.

Cantidad	Descripción	Precio por unidad [\$]	Precio Total [\$]
1	PLC Siemens S7 300	2407.98	2407.98
1	Simatic HMI KTP1000 Basic Panel	359.65	359.65
1	Motorreductor con caja reductora JGA25-370	16	16
1	Motor a paso MOQUO Nema 17	25.90	25.90
1	TB6600 Driver Para Motor a Pasos 4A Nema	162.00	162.00
1	Sensor Ultrasónico Industrial	212.28	212.28
	<b>TOTAL</b>		<b>3183.81</b>

### 4.3.3 Mano de obra

En la Tabla 38 se establece a partir del sueldo básico de un ingeniero en Ecuador, el cual es de \$500, luego se obtuvo el valor diario a partir de este valor.

**Tabla 38.** Análisis de costos de mano de obra.

Cantidad (h)	Descripción	Precio por unidad [\$]	Precio Total [\$]
240	Mano de obra	3.12	748.80
	<b>TOTAL</b>		<b>748.80</b>

### 4.3.4 El total de costo de la construcción de la máquina

En la Tabla 39 se obtiene el costo total de construcción de la máquina que realiza la sumatoria de los costos obtenidos en las tablas anteriores y estos están expresados en la Tabla 19.

**Tabla 39.** Costo total de la máquina.

Nombre del Costo	Valor [\$]
Costo de construcción mecánica	1021.2
Costo de construcción eléctrica y control	2883.52
Costo de mano de obra	748.80
<b>TOTAL</b>	<b>4653.52</b>

## 4.4 Análisis VAN Y TIR.

### 4.4.1 Determinación de costos

En la Tabla 40 se muestra los costos fijos que se va a tener anualmente:

**Tabla 40.** Valor Total Anual de Costos Fijos.

COSTOS FIJOS	
Rubros de costo	Precio
<b>Costos directos</b>	
Salario de Personal	\$748.8
<b>TOTAL</b>	<b>\$748.8</b>

En la Tabla 41 se muestra los costos variables que se va a tener anualmente:

**Tabla 41.** *Valor Total Anual de Costos Variables.*

<b>COSTOS VARIABLES</b>	
<b>Rubros de costo</b>	<b>\$</b>
Plancha de Acero Inoxidable 304	\$207.22
PLC S7 300	\$2,407.98
HMI KTP1000	\$359.65
Tubos cuadrados Acero Inoxidable 304	\$61.64
Engranajes	\$177
Pernos	\$1
Poliéster	\$0.75
Motor con caja reductora JGA25-370	\$16
Motor a paso MOQUO Nema 17	\$25.90
TB6600 Driver Para Motor a Pasos 4A Nema	\$162.00
Sensor Ultrasónico Industrial	\$212.28
Ángulo tipo L de acero inoxidable	\$38.62
<b>TOTAL</b>	<b>\$3,493.04</b>

#### 4.4.2 Depreciación

En la Tabla 42 se observa la depreciación es decir la disminución del valor invertido por lo cual es importante tratar un valor económico que no se tienda a perder el tiempo y la duración sea larga.

**Tabla 42.** *Depreciación lineal anual de inversiones.*

<b>Inversiones</b>	<b>Costo (\$)</b>	<b>Vida Útil (años)</b>	<b>Depreciación lineal</b>
<b>Costeo de Máquina Dosificadora</b>	4653.52	5	930.704
<b>Total, de depreciación</b>			930.704

#### 4.4.3 Flujo Neto de Caja

En la Tabla 43 se observa el flujo neto para evaluar la viabilidad y rentabilidad de la implementación del proyecto, ya que proporciona una situación efectiva real y financiera totalmente generada por varios recursos.

**Tabla 43.** *Flujo Neto de Caja.*

<b>Cantidad</b>	1
<b>Precio</b>	4653.52
<b>Costo Variable</b>	3495.04

Concepto	Inversión	Año1
Ingreso Operacional		5000
Costo Variable		3495.04
Costo Fijo		748.8
Depreciación		930.704
Utilidad Bruta		756.16
15% Parte. Trabajadores		133.44
Impuesto a renta 25%		622.72
Utilidad Neta		-174.544
Inversión fija	500	
Capital de trabajo	100	
Valor de desecho		756.16
Flujo de caja neto	-600	756.16

#### 4.4.4 El costo de capital o tasa mínima aceptable de rendimiento

Se observa la ecuación (92) que calcula el costo de capital o tasa mínima para tener un rendimiento aceptable y óptimo.

$$TMAR = i + f + (i * f) \quad (92)$$

Donde:

- i: premio al riesgo.
- f: inflación.

Las TMAR de cada uno son:

- Inversionistas:  $TMAR = 12\% \text{ inflación} + 11\% \text{ premio al riesgo} + (0.12 * 0.11) = 0.243$ .
- Otras empresas:  $TMAR = 12\% \text{ inflación} + 11\% \text{ premio al riesgo} + (0.12 * 0.11) = 0.2432$ .

En la Tabla 44 se muestra la tasa de descuento para el costo de capital o tasa aceptable para un mejor rendimiento.

**Tabla 44.** Tasa de descuento (TMAR).

Accionista	%Aportación	TMAR	Ponderación
Inversionista	0.9	0.230132	0.2071188
Otras empresas	0.1	0.230132	0.0230132
<b>TMAR global mixta</b>			<b>0.230132</b>

El 23.01% es el porcentaje mínimo que la empresa puede ganar para operar, caso contrario, el rendimiento de esta bajaría y no alcanzara a cubrir el pago de interés a los accionistas ni su propia tasa mínima aceptable.

#### 4.4.5 Valor Actual Neto

En la Tabla 45 se muestra el valore actual neto:

**Tabla 45.** *El valor actual Neto.*

Concepto	Inversión	Mes 1
Flujo de caja neto	-1000	1058.45
<b>Evaluación Financiera</b>		
TMAR	23%	
<b>Valor Actual neto</b>	<b>\$756.16</b>	

El VAN es positivo ( $VAN > 0$ ), por lo tanto, es conveniente ejecutar el proyecto.

#### 4.4.6 La Tasa interna de retorno

En la Tabla 46 se muestra la tasa interna de retorno:

**Tabla 46.** *La tasa interna de Retorno.*

Concepto	Inversión	Mes1
Flujo de caja neto	-800	353373
<b>Evaluación Financiera</b>		
TMAR	23%	
<b>Valor Actual neto</b>	<b>\$1058.45</b>	
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	<b>26%</b>	

La tasa interna de retorno es mayor a la tasa de descuento con  $TIR = 32\% > TMAR = 23\%$ , por lo tanto es conveniente ejecutar el proyecto.

#### 4.4.7 Evaluación de Proyecto

Se observa en la Tabla 47 la evaluación del proyecto:

**Tabla 47.** *Evaluación del proyecto.*

<b>Cantidad</b>	1	
<b>Precio</b>	4653.52	
<b>Costo Variable</b>	3495.04	
<b>Concepto</b>	<b>Inversión</b>	<b>Año1</b>
Ingreso Operacional		5000
Costo Variable		3495.04

<b>Costo Fijo</b>		748.8
<b>Depreciación</b>		930.704
<b>Utilidad Bruta</b>		756.16
<b>15% Parte. Trabajadores</b>		133.44
<b>Impuesto a renta 25%</b>		622.72
<b>Utilidad Neta</b>		-174.544
<b>Inversión fija</b>	500	
<b>Capital de trabajo</b>	100	
<b>Valor de desecho</b>		756.16
<b>Flujo de caja neto</b>	-600	756.16
<b>TMAR</b>	23%	
<b>Valor Actual neto</b>	\$756.16	
<b>Tasa Interna de Retorno</b>	26%	

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se observa las conclusiones y recomendaciones obtenidas mediante los pasos para la simulación de la dosificadora semiautomática de chocolates y trufas por peso a medida que se fue simulando la máquina.

### CONCLUSIONES

- Mediante pruebas de pesaje de los diferentes tipos de chocolates a dosificar se obtiene que hay chocolates de 5 gr, 8 gr, 10 gr y 12 gr, en donde identificando el volumen de cada chocolate mediante el experimento de Arquímedes y cálculos respectivos se obtiene que la capacidad de cada tolva es de 14.8545 kg, el cual es un buen resultado con respecto a lo que se quiere colocar dentro de cada tolva que son 5 kg de producto.
- La tolva tiene un factor de seguridad de 2,3 el cual es muy bueno ya que supera el valor de 2, que proporciona información acerca de que soporta la carga de 5 kg que se desea colocar en la tolva.
- La estructura de la máquina tiene un factor de seguridad de 2,2 el cual no es tan bueno, ya que además sufre deformaciones en la viga que sostiene la tolva grande donde caerán la cantidad de 150 gr de chocolates.
- En el movimiento de la banda transportadora se usa mecanismo de 2 engranajes que se transmiten movimiento para reducir la velocidad del motor, en donde se obtiene que los diámetros de los dos engranajes usados son  $d_1 = 38.1 \text{ mm}$  (1.5 in),  $d_2 = 114 \text{ mm}$  (4.5 in) con una velocidad de línea  $v_1 = 3.59 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ( $11.78 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$ ).
- La banda transportadora separadora que se diseña alcanza una altura de 1000 mm con dimensiones de 800 mm de longitud y 200 mm de ancho. La velocidad a la cual trabaja es de 0.8 m/s, que es óptimo para el producto que se va a transportar, ya que son pequeños chocolates que tienen una densidad pequeña.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda mejorar la adquisición de resultados para conocer sobre cuanto en rivalidad se está realizando el proceso total de la máquina.
- Se recomienda emplear un sistema totalmente automatizado para que el empleado no tenga que realizar esfuerzo para colocar el producto en la máquina.
- Se recomienda implementar un sistema de control de calidad que pueda verificar mediante normas o hasta cuando se llega a un mantenimiento adecuado o si es necesario o no.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] RINOMAQUINARIA, “Dosificadoras de líquidos, granos y viscosos”, 2022. <https://rinomaquinaria.com/dosificadoras/>
- [2] A. Romero, “¿Por qué es importante contar con un equipo de dosificado de Alta Calidad?”, 23 marzo, 2020. <https://rinomaquinaria.com/blog/importancia-de-dosificar-mis-productos/>
- [3] E. MORÁN, “MÁQUINA DOSIFICADORA DE LECHE PARA LA ALIMENTACIÓN DE TERNERAS EN LA PROVINCIA DEL CARCHI”, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2015.
- [4] L. Gómez, “Estudio de un sistema de dosificación para sólidos aplicable en la elaboración de tabletas de chocolate y su incidencia en la producción de la empresa chocolates doña olguita en la parroquia de Huachi Chico”, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2014.
- [5] D. A. R. MORA, “DISEÑO DE UN DOSIFICADOR AUTOMÁTICO DE BAQUELITA PARA DOS TIPOS DIFERENTES DE BASES DE LICUADORAS PARA LA EMPRESA NACIONAL DE LICUADORAS NALIET SAS”, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, 2019.
- [6] E. Moreno, “Diseño De Una Máquina Empacadora, Dosificadora Y Selladora De Fundas Para Arroz”, Escuela Politécnica Nacional, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/CA18E256-D7F0-4E94-83A8-B2EB46FEEE7A/FinalDownload/DownloadId-606A47300A809DB6A0D1347FD75055DB/CA18E256-D7F0-4E94-83A8-B2EB46FEEE7A/bitstream/15000/1287/1/CD-2667.pdf>
- [7] I. Aricson, “Dosificadores Gravimétricos - Acrison Español”, *Acrison, Inc.*, 20 *Empire Blvd., Moonachie, NJ 07074*, 2023. <https://acrison.com/es/linea-de-productos/dosificadores-gravimetricos/>
- [8] Tecnotanques, “Tolva ¿Qué son y para qué sirven?”, 3 julio, 2020. <https://tecnotanques.com/tolva-que-son-y-para-que-sirven/>
- [9] R. Murcia, “Sistema piñón cremallera\_Definición y funciones”. Murcia, p. 2, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repuestosmurcia.com/sistema-pinon-cremallera/>
- [10] INGENIERÍA Y MECÁNICA AUTOMOTRIZ, “¿Qué son los engranes de Piñón y Cremallera y cómo se diseñan?” 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-son-los-engranes-de-pinon-y-cremallera-y-como-se-disenan/>
- [11] M. Ibarra, E. Núñez, y J. Huerta, “Manual Aceros Inoxidables”, *Indura*, vol. Marzo, pp. 21–24, 2010, [En línea]. Disponible en: <https://www.indura.com.ec/web/ec>
- [12] NKS, “Aceros Inoxidable 304 y 304L - NKS”, 2020. <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-304/>
- [13] E. Decoraci, “TUBERÍA CUADRADA ACERO INOXIDABLE 304 DESCRIPCIÓN Tubo cuadrado acero inoxidable”, p. 2, [En línea]. Disponible en: <https://www.importaceros.com/wp-content/uploads/2021/01/importaceros-tuberia-cuadrada-acero-inoxidable-304.pdf>
- [14] B. F. La Pobla, “¿Qué es una estructura metálica?”, *FERROS LA POBLA*, 2018. <https://ferroslapobla.com/que-es-una-estructura-metalica/>
- [15] Molinaro, “Bandas modulares”. ECUADOR, p. 2, 2020. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.visgmbh.eu/es/productos/bandas-modulares/>
- [16] P. Est *et al.*, “Materiales [polipropilenos] materiales [polietilenos]”, p. 6, 2017, [En línea]. Disponible en: <http://eurobelt.com/wp-content/uploads/2017/08/MaterialesColores.pdf>
- [17] SAENZ, “Suministros Industriales”. España, p. 5, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://saenz-si.com/>
- [18] Roydisa, “Motorreductores: Cómo funcionan y de qué elementos están compuestos”. p. 2, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.roydisa.es/archivos/5419>
- [19] Transfer Multisort Elektronik, “Motor paso a paso – tipos y ejemplos del uso de motores paso a paso | Distribuidor de componentes electrónicos”. p. 5, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.tme.com/co/es/news/library-articles/page/41861/Motor-paso-a-paso-tipos-y-ejemplos-del-uso-de-motores-paso-a-paso/>
- [20] Industrial Shields, “Motor paso a paso Nema 17”, *Industrialshields.Com*. pp. 1–1, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.igus.es/info/drive-technology-stepper-motor-nema-17>
- [21] C. Carrión, “Sensor de proximidad Inductivo, capacitivo, infrarrojo y ultrasónico”, *11 Enero*, 2016. <https://www.arrow.com/es-mx/categories/sensors/proximity-sensors>
- [22] Skillten, “SENSORES INDUCTIVOS PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO”, 2015. Consultado: el 14 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: [https://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14090/mod\\_resource/content/0/inductivos\\_funcionamiento.pdf](https://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14090/mod_resource/content/0/inductivos_funcionamiento.pdf)
- [23] Niu Feng, “Sensor fotoeléctrico”, *OMCH*, 2021. <https://www.omch.co/es/photoelectric-sensor/> (consultado el 15 de julio de 2023).
- [24] Jeff Sherpard, “Detección de productos mediante sensores ultrasónicos”, el 18 de enero de 2022. <https://www.digikey.com/es/articles/product-detection-and-ranging-using-ultrasonic-sensors> (consultado el 15 de julio de 2023).
- [25] Jesús Francisco Vidaña Duron, “¿Qué es un sensor ultrasónico?”, sep. 2019. Consultado: el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <file:///C:/Users/HP%20User/Downloads/424881964-Que-Es-Un-Sensor-Ultrasonico.pdf>
- [26] GENERA CREATIVE GROUP, “PLC Siemens S7 300: sistemas autómatas para gamas baja y media”, *Autycom*. p. 2, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/plc-siemens-s7-300-caracteristicas/#:~:text=Se trata de un autómata, más versátiles para la industria.>
- [27] M. VOLTAJE, “SIEMENS - SIMATIC S7-300, CPU 313C, CPU compacta con MPI, 24 ED/16 SD, 4EA, 2SA, 1”. p. 2, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://masvoltaje.com/simatic-s7-300/1304-simatic-s7-300-cpu-313c-cpu-compacta-con-mpi-24-ed-16-sd-4ea-2sa-1-pt100-4025515079095.html>
- [28] AUTYCOM, “SIMATIC HMI, KTP400 Basic, Basic Panel, Manejo con teclado táctil, pantalla TFT de 4”, 65536 colores, Interfaz PROFINET, configurable a partir de WinC”. p. 1, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/producto/pantalla-hmi-simatic-6av2123-2db03-0ax0-siemens/>
- [29] AVEVA, “Interfaz Hombre-Máquina, ¿Qué es un HMI?” 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.aveva.com/es-es/solutions/operations/hmi/>
- [30] SDI Industrial Zona, “Bandas transportadoras ¿Qué son, y cómo funcionan?”, *SDI*, 2022. <https://sdindustrial.com.mx/blog/bandas-transportadoras/> (consultado el 15 de julio de 2023).
- [31] C. SolidWorks, “Introducción a Solidworks”, *Solidworks*, pp. 12-4-6–18, 2015, [En

- línea]. Disponible en: [https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS\\_Introduction\\_ES.pdf](https://my.solidworks.com/solidworks/guide/SOLIDWORKS_Introduction_ES.pdf)
- [32] Deingenierias, “¿Qué es SolidWorks, para qué sirve?”, *DICIEMBRE 21*, 2019. <https://solid-bi.es/solidworks/>
- [33] Mgs. A. E. C. Vásquez, “RESOLUCIÓN No. 14346 MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD SUBSECRETARÍA DE LA CALIDAD”, núm. Julio, p. 8, 2014, [En línea]. Disponible en: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JOET8LggWhUJ:https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-131.pdf&cd=9&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec>
- [34] C. D. Flores Arrieta, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA AUTOMÁTICA CON CAPACIDAD DE 10 kg PARA EL EMPAQUETADO DE CHOCOLATES EN LA EMPRESA FAMILIA SALESIANA ‘EL SALINERITO’.”, *Tesis*, pp. 1–167, 2020.
- [35] IEC, “Seguridad y seguridad funcional”. p. 20, 2008.
- [36] A. Laverde, “Norma IEC para Aparatos, Equipos y Dispositivos Electrónicos”, *Aldelta Technologies*. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.aldeiatec.com/blog-diseno-con-normas-y-certificaciones/norma-iec-para-equipos-y-aparatos-electronicos/#quesonlasnormasiec>
- [37] L. Productos, “Catálogo productos\_Dosificador por peso automático”, p. 86, 2023, [En línea]. Disponible en: [https://tecnoembalaje.com/wp-content/uploads/2023/05/catalogo-tecnoembalaje-2023-2.pdf#utm\\_source=Catalogo+2023&utm\\_medium=BTN+Catalogo+2023&utm\\_campaign=Boton](https://tecnoembalaje.com/wp-content/uploads/2023/05/catalogo-tecnoembalaje-2023-2.pdf#utm_source=Catalogo+2023&utm_medium=BTN+Catalogo+2023&utm_campaign=Boton)
- [38] Flexseal Pacífico S.A.C., “Diferencia entre Acero Inoxidable 304 y 316.”, Consultado: el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pacifico.fseal.com/diferencia-entre-acero-inoxidable-304-y-316/>
- [39] WIKI, “Diferencia entre acero inoxidable 304 y 316”, Consultado: el 15 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://304stainlesssteel.org/304-vs-316-stainless-steel/>
- [40] D. H. Myszka, *Máquinas y Mecanismos. Cuarta edición.*, Cuarta edi. Mexico, 2012. [En línea]. Disponible en: [file:///C:/Users/HP User/Downloads/pdfcoffee.com\\_mc3a1quinas-y-mecanismos-4-ed-david-h-myszka-pdf-free.pdf](file:///C:/Users/HP User/Downloads/pdfcoffee.com_mc3a1quinas-y-mecanismos-4-ed-david-h-myszka-pdf-free.pdf)
- [41] N. R. S.A.L, “Bandas transportadoras”, p. 86, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://www.norrubber.com/wp-content/uploads/2014/11/CATALOGO-NOR-RUBBER-TECNICO.pdf>.
- [42] M. Mongelos, “¿Cómo calcular la capacidad de un transportador?” Argentina, p. 4, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.spinozziargentina.com/post/cómo-calcular-la-capacidad-de-un-transportador>
- [43] Ingemecánica, “Cálculo y Diseño de Cintas Transportadoras”, *Ingemecánica*, pp. 1–39, 2016.
- [44] Uniones Soldadas, “SOLDADURA”, vol. 1, pp. 1–25, abr. 2021, Consultado: el 23 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6080/06.pdf?sequence=7>
- [45] DAMIÀ MILANÉS, “Cómo se calculan las soldaduras”, *Engineers & Architects*, el 19 de abril de 2021. <https://www.e-zigurat.com/es/blog/soldaduras-se-calculan/> (consultado el 23 de julio de 2023).
- [46] Joaquin Benavidez, “Medidas Normalizadas para Tornillos y Tuercas”, 3, mar. 2014.

- [En línea]. Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutoriales/tornillos.html>
- [47] Grainger, “Sensor ultrasónico cilíndrico: 18 mm de diámetro, 508 mm, 0 a 10 V CC, analógico, 40 mA máx. Carga, Plástico”. [https://www.grainger.com/product/1EXB8?cm\\_mmc=PPC:Google-\\_-GlobalExport-\\_-EC-\\_-Acquisition-\\_-2020012&gclid=CjwKCAjwh8mlBhB\\_EiwAsztdBEP0jGW7lnz-WWGWtEmm2FhqUN0RB8s37za\\_iY27x\\_ed4jl8BRQNFRoCZ6YQAvD\\_BwE](https://www.grainger.com/product/1EXB8?cm_mmc=PPC:Google-_-GlobalExport-_-EC-_-Acquisition-_-2020012&gclid=CjwKCAjwh8mlBhB_EiwAsztdBEP0jGW7lnz-WWGWtEmm2FhqUN0RB8s37za_iY27x_ed4jl8BRQNFRoCZ6YQAvD_BwE) (consultado el 19 de julio de 2023).
- [48] SICK, “UM30-214113 \_ Sensores de distancia”. <https://www.sick.com/es/es/sensores-de-distancia/sensores-de-ultrasonido/um30/um30-214113/p/p222363> (consultado el 19 de julio de 2023).
- [49] UNIT ELECTRONICS, “TB6600 Driver Para Motor A Pasos 4A Nema”. <https://uelectronics.com/producto/tb6600-driver-para-motor-a-pasos-4a-nema/> (consultado el 19 de julio de 2023).