



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”
ZACATENCO**

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA
PARA EL PROCESO DE ENVASADO DE DOS TIPOS DE
CACAHUATE”**

REPORTE TÉCNICO

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN**

PRESENTAN:

HUGO DANIEL CERDA CARRILLO

LEONARDO GONZALES BARRITA

GIBRAN ALEJANDRO MALDONADO JUAREZ

ASESORES:

ING. RICARDO YÁÑEZ MENDOZA

MTRO. FRANCISCO JAVIER JIMÉNEZ GARCÍA



CIUDAD DE MÉXICO

ABRIL 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”

REPORTE TÉCNICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN CURRICULAR
DEBERA (N) DESARROLLAR C. HUGO DANIEL CERDA CARRILLO
C. LEONARDO GONZALES BARRITA
C. GIBRAN ALEJANDRO MALDONADO JUAREZ


“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE ENVASADO DE DOS TIPOS DE CACAHUATE”

PROPONER EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA MANIPULAR EL PROCESO DE ENVASADO PARA DIVERSOS TIPOS DE CACAHUATE, UTILIZANDO UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC), UN SISTEMA DE SERVOMOTORES Y DIVERSOS ELEMENTOS DE AUTOMATIZACIÓN.


- ❖ AUTOMATIZACIÓN DEL ENVASADO DE CACAHUATE
- ❖ ANTECEDENTES
- ❖ PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

CIUDAD DE MÉXICO, A 07 DE ABRIL DE 2022.

ASESORES


ING. RICARDO YÁÑEZ
MENDOZA


MTRO. FRANCISCO JAVIER
JIMÉNEZ GARCÍA


M. EN C. MIRIAM GÓMEZ ÁLVAREZ
JEFA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN
CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN



Instituto Politécnico Nacional

Presente

Bajo protesta de decir verdad los que suscriben **HUGO DANIEL CERDA CARRILLO, LEONARDO GONZALES BARRITA y GIBRAN ALEJANDRO MALDONADO JUAREZ**, manifestamos ser autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL PROCESO DE ENVASADO DE DOS TIPOS DE CACAHUATE”**, en adelante **“La Tesis”** y de la cual se adjunta copia en **dos cd’s**, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgamos al **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**, en adelante **ELIPN**, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales o en cualquier otro medio; para consulta en futuros trabajos relacionados con el tema, de **“La Tesis”** por un periodo de **5 años** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a **ELIPN** de su terminación.

En virtud de lo anterior, **ELIPN** deberá reconocer en todo momento nuestra calidad de autores de **“La Tesis”**.

Adicionalmente, y en nuestra calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de **“La Tesis”**, manifestamos que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por los suscritos respecto de **“La Tesis”**, por lo que deslindamos de toda responsabilidad a **ELIPN** en caso de que el contenido de **“La Tesis”** o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumimos las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México., a 19 de mayo de 2022.

Atentamente

Hugo Daniel

HUGO DANIEL CERDA CARRILLO

LEONARDO GONZALES BARRITA

GIBRAN ALEJANDRO MALDONADO JUAREZ

Contenido

Introducción	1
Generalidades	3
Planteamiento del problema	4
Estado actual	5
Envasado de cacahuate	6
Desventajas.....	9
Propuesta de mejoras.....	10
Tolva.....	10
Alimentación	11
Dosificador.....	12
Formador de bolsa.....	13
Sellado vertical	14
Sistema de arrastre	15
Sellador horizontal.....	16
Tablero de control.....	17
Objetivos.....	20
Objetivo general.....	20
Objetivos específicos	21
Justificación	21
Alcance de la investigación.....	23
Capítulo 1. Automatización del envasado de cacahuate	24
1.1 Envasado de cacahuate.....	25
1.1.2 Tipos de máquinas envasadoras	27
1.1.2.1 Envasadoras lineales u horizontal.....	28
1.1.2.2 Envasadora vertical.....	29
1.1.3 Sistemas de dosificación.....	30
1.1.3.1 Dosificación gravimétrica	31

1.1.3.2 Dosificación volumétrica	31
1.2 Tolva.....	35
1.3 Tubo formador	37
1.4 Materiales de envasado.....	39
1.4.1 Polipropileno cast (CPP).....	39
1.4.2 Polipropileno Bioorientado.....	40
1.5 Tipos de presentación de envase	40
1.5.1 Stick.....	41
1.5.2 Fondo estable (4 soldaduras).....	41
1.5.3 Pliegue inglés / Gusseted	42
1.5.4 Almohadilla / Pillow	43
1.6 Metales de grado alimenticio.....	43
1.6.1 AISI 316.....	44
1.6.2 AISI 430.....	45
1.7 Sistemas de control	46
1.7.1 Control por modulación de ancho de pulsos	46
1.8 Elementos de mando y control.....	48
1.8.1 Contactor	48
1.8.2 Relevador	49
1.8.3 Relevador de estado sólido.....	50
1.8.4 Controlador lógico programable	51
1.8.5 Interfaz humano máquina	53
1.8.6 Software TIA portal	54
1.8.10 Controlador de temperatura	56
1.8.10.1 Controlador de temperatura on / off	57
1.8.10.2 Controlador de temperatura proporcional.....	57
1.9 Motores.....	58

1.9.1 Motor de corriente alterna asíncrono.....	58
1.9.2 Motor de corriente directa	59
1.9.2.1 Motor de Imanes permanentes	60
1.10 Sensores.....	61
1.10.1 Sensor Capacitivo	62
1.10.2 Sensor Inductivo	63
1.10.3 Sensor de fotocelda	64
1.10.4 Termocupla.....	65
1.11 Mecanismos.....	65
1.11.1 Biela-manivela	66
1.11.2 Transmisión por polea.....	67
1.11.3 Engranajes.....	68
1.11.3.1 Engranaje helicoidal.....	68
1.11.3.2 Engranaje cónico	69
1.11.3.3 Engranaje Recto	70
Capítulo 2. Antecedentes.....	72
Capítulo 3. Propuesta de Automatización	86
3.1 Mecanismos y hardware del sistema	88
3.1.1 Diseño de la tolva	88
3.1.1.1 Selección de material de la tolva.....	88
3.1.1.2 Capacidad de almacenamiento.....	89
3.1.1.3 Selección de material de estructura	91
3.1.1.4 Tubos de alimentación	92
3.1.2 Dosificador.....	93
3.1.2.1 Mecanismo de rotación	94
3.1.2.2 Mecanismo de ajuste volumétrico	97
3.1.3 Elaboración del envase.....	101

3.1.3.1	Diseño del tubo formador.....	101
3.1.3.2	Desembobinador.....	102
3.1.3.3	Diseño del sellador vertical	104
3.1.3.4	Diseño del sistema de arrastre.....	108
3.1.3.5	Diseño del sellador horizontal	114
3.1.5	Selección de controlador.....	118
3.1.5.1	Cuantificación de entradas y salidas	118
3.1.5.2	Elección del controlador.....	121
3.1.6	Elementos de mando y visualización	124
3.1.6.1	Selección de pulsadores	125
3.1.6.2	Selección de Indicadores	126
3.1.6.3	Selección de paro de emergencia	126
3.1.6.4	Selección de la HMI	128
3.1.6.5	Selección del controlador de temperatura	129
3.1.7	Alimentación	130
3.1.7.1	Dispositivos de control	130
3.1.7.2	Dispositivos de automatización	131
3.1.7.3	Transformador	133
3.1.8	Selección de sensores	134
3.1.8.1	Sensor de nivel	134
3.1.8.2	Sensor de detección de film	135
3.1.8.3	Sensor de temperatura	136
3.1.9	Dispositivos de conmutación.....	137
3.1.9.1	Relé de estado sólido.....	137
3.1.9.2	Contactador para motor corriente alterna.....	138
3.1.9.3	Relevador de corriente directa	139
3.1.9.4	Puente H.....	140

3.1.10 Dispositivos de seguridad	141
3.1.10.1 Disyuntor para fuentes de alimentación	142
3.1.10.2 Interruptor termomagnético para motor de CA	142
3.1.11 Selección del gabinete	143
3.1.11.1 Gabinete 1	143
3.1.11.2 Gabinete 2	146
3.1.12 Misceláneos.....	147
3.1.13 Distribución de elementos.....	150
3.1.13.1 Distribución GAB-1.....	150
3.1.13.2 Distribución GAB-2.....	153
3.1.14 Diagramas de conexión	155
3.1.14.1 Diagrama de conexión para alimentación	155
3.1.14.2 Diagrama de conexión para GAB-1.....	156
3.1.14.3 Diagrama de conexión GAB - 2.....	160
3.2 Ingeniería a nivel software	164
3.2.1 Configuración del PLC para la máquina empacadora de cacahuates	164
3.2.2 Propuesta de programa secuencial para el sistema de empaçado.....	168
3.2.2.1 Subrutina de normalizado	179
3.2.2.2 Subrutinas de control de motores de arrastre.....	183
3.2.2.3 Subrutina control de motores de ajuste del dosificador	185
3.2.2.4 Subrutinas de selladoras horizontal y vertical.....	187
3.2.2.5 Subrutinas de control de temperatura en selladores	188
3.2.3 Propuesta de diseño de HMI.....	196
3.3. Análisis económico	201
3.3.1 Análisis de costos	202
3.3.1.1 Costo de materiales y equipo.....	202
3.3.1.2 Costos de instalación	205

3.3.1.3 Costos fijos e ingeniería.....	206
3.3.1.4 Costo total.....	207
3.3.2 Análisis costo beneficio.....	208
3.3.2.1 Retorno de inversión en el envasado de cacahuate.....	213
Conclusiones	215
Bibliografía.....	217
Anexos	225

Índice de figuras

Figura 1. Estado actual de la máquina de envasado.....	6
Figura 2. Sistema de corte manual en el estado actual de la máquina.....	7
Figura 3. Sistema de sellado semiautomático en el estado actual de la máquina.	8
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de envasado en la máquina manual (elaboración propia).	9
Figura 5. Prototipo de la tolva (elaboración propia).....	10
Figura 6. Prototipo de placa de separación desmontable (elaboración propia).	11
Figura 7. Prototipo de los tubos de alimentación (elaboración propia).	12
Figura 8. Prototipo del sistema de dosificación (elaboración propia).....	12
Figura 9. Prototipo del sistema de ajuste volumétrico (elaboración propia).....	13
Figura 10. Prototipo del tubo formador (elaboración propia).	14
Figura 11 Prototipo de sellador vertical (elaboración propia).....	15
Figura 12. Prototipo del sistema de arrastre por poleas dentadas (elaboración propia). ..	16
Figura 13. Prototipo del sistema de sellado vertical (elaboración propia).	17
Figura 14. Partes del tablero de control de la máquina (elaboración propia).....	18
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de envasado de cacahuete en la máquina propuesta (elaboración propia).	19
Figura 16. Envasadora horizontal.	28
Figura 17. Envasadora vertical.	29
Figura 18. Sistema de dosificación por tornillo sinfín.....	33
Figura 19. Sistema de dosificación por pistón.....	34
Figura 20. Sistema de dosificación por vasos volumétrico.	35
Figura 21. Tipos de tolvas	36
Figura 22. Tipos de flujo de los materiales en una tolva.....	37
Figura 23. Tipos de tubos formadores diferentes formatos.	38
Figura 24. Formador de envase para productos stickpack	38

Figura 25. Rollo de película de polietileno utilizada en envasadoras verticales.....	40
Figura 26. Empaque de tipo stick.....	41
Figura 27. Bolsa de 4 soldaduras.....	42
Figura 28. Bolsa de pliegue inglés.	42
Figura 29. Empaque tipo Pillow.	43
Figura 30. Lamina de acero AISI 316.....	44
Figura 31. Lámina de acero AISI 430.....	45
Figura 32. Gráfica de onda senoidal generada a partir de señal del PWM.....	47
Figura 33. Contactor.	49
Figura 34. Relevador.	50
Figura 35. Relevador de estado sólido.....	51
Figura 36. Partes de un PLC.....	52
Figura 37. Interfaz humano máquina.	53
Figura 38. Entorno de programación Tia Portal (elaboración propia).	55
Figura 39. Controlador de temperatura.	56
Figura 40. Motor asíncrono	59
Figura 41. Motor de corriente continua.	60
Figura 42. Motor de imanes permanentes.....	61
Figura 43. Sensor capacitivo.....	62
Figura 44. Sensor inductivo.	63
Figura 45. Sensor de fotocelda.	64
Figura 46. Termopar tipo cúpula.	65
Figura 47. Mecanismo de biela-manivela.....	66
Figura 48. Diferentes sistemas de poleas.	67
Figura 49. Engranaje helicoidal	69
Figura 50. Engranaje cónico.	70

Figura 51. Engranaje recto.....	70
Figura 52. Máquina de envasado vertical VFFS para productos de grano /llenado de vasos volumétricos.	80
Figura 53. Empacadora Vertical eco PE y/o laminados.....	82
Figura 54. Empacadora de empacado vertical TP-G001.....	83
Figura 55. Envasadora con tubos paralelos Twin Tube.....	84
Figura 56. Dimensiones de la tolva en milímetros (elaboración propia).	89
Figura 57. Perfil cuadrado 3x3 centímetros.....	91
Figura 58. Estructura de acero (elaboración propia).	92
Figura 59. Modo de dosificación por gravedad (elaboración propia).	93
Figura 60. Dimensiones del mecanismo dosificador de vasos telescópicos en milímetros (elaboración propia).	94
Figura 61. Dimensiones del sistema de rotación del dosificador en milímetros (elaboración propia).	95
Figura 62. Motorreductor monofásico ZD Motors 6IK180GU-AF.....	96
Figura 63. Dimensiones del sistema de ajuste volumétrico en milímetros (elaboración propia).	97
Figura 64. Cálculo de masa por software tomando la densidad del acero AISI 316 de 8.0 g/cm ³ (elaboración propia).	98
Figura 65. Motorreductor ZD Motors PG52MZY52.....	99
Figura 66. Movimiento de ajuste del dosificador volumétrico (elaboración propia).	100
Figura 67. Dimensiones del tubo formador propuesto en milímetros (elaboración propia).	102
Figura 68. Dimensiones del sistema des embobinador en milímetros (elaboración propia).	103
Figura 69. Dimensiones del mecanismo de sellado biela manivela corredera propuesto en milímetros (elaboración propia).....	105
Figura 70. Motorreductor 24V DC Bringsmart DM-82SW.....	106

Figura 71. Resistencia térmica para teflón 30 cm.	107
Figura 72. Modo de deslizamiento del material de envasado (elaboración propia).	108
Figura 73. Correa de arrastre.....	109
Figura 74.. Dimensiones y ubicación de los elementos del sistema de arrastre (elaboración propia).....	110
Figura 75. Tren de engranes con relación de transmisión 1:1 (elaboración propia).	111
Figura 76. Medidas y ubicación de engranes rectos con relación de transmisión 1:1 (elaboración propia).....	112
Figura 77. Motorreductor Brushles BC 7060 ZD motors.....	113
Figura 78. Distancia entre líneas de envasado en milímetros (elaboración propia).....	114
Figura 79. Dimensiones del sellador horizontal en milímetros (elaboración propia).	115
Figura 80. Ubicación y posición del sellador horizontal vista lateral (elaboración propia).	116
Figura 81. Motorreductor ZD Motors Z5D60-24.	117
Figura 82. PLC Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C.	122
Figura 83. Botón pulsador color verde Schneider Electric.....	125
Figura 84. Luz piloto color amarillo Schneider Electric.	126
Figura 85. Botón paro de emergencia tipo zeta Schneider Electric.	127
Figura 86. Monitor HMI Siemens Simatic KTP700 Panel BASIC.....	128
Figura 87. Cable de comunicación Ethernet UTP conector RJ45.....	129
Figura 88. Controlador de temperatura REG 48X48 milímetros marca Schneider Electric.	130
Figura 89. Fuente de alimentación Siemens PSU100 24.	131
Figura 90. Fuente de alimentación Industrial Shields Power Supply AC-DC 240 Watts salida a 24 volts de corriente directa.....	133
Figura 91. Transformador 150 volts-amperes 120 volts de corriente directa 12/24 volts de corriente alterna.....	134

Figura 92. Sensor fotoeléctrico de barrera Autonics tipo plano.	135
Figura 93. Sensor fotoeléctrico de barrera Autonics BRQ.	136
Figura 94. Sensor de temperatura tipo J Chekman.	137
Figura 95. Relé de estado sólido SSM1D26BD Schneider Electric.	138
Figura 96. Contactor auxiliar TeSys CA2SK 25 amperes Schneider Electric.	139
Figura 97. Relevador de 24 volts de corriente directa Finder 30.51.0.125.0060.	140
Figura 98. Modulo L298N Puente H.	141
Figura 99. Disyuntor termomagnético TeSys a 3 amperes Schneider Electric.	142
Figura 100. Interruptor termomagnético TeSys porta-fusible 1PN2A Schneider Electric.	143
Figura 101. Diseño de distribución para GAB-1 medidas en milímetros (elaboración propia).	144
Figura 102. Gabinete 43200 P de Schneider Electric.	145
Figura 103. Distribución de componentes TAB 2 en milímetros (elaboración propia).	146
Figura 104. Gabinete NSYCR64250 P de Schneider Electric.	147
Figura 105. Clema de conexión NSYTRV22 para riel DIN.	148
Figura 106. Riel DIN para montaje en gabinete.	149
Figura 107. Ducto ranurado con tapa.	150
Figura 108. Vista explosionada de los dispositivos en el GAB-1 (elaboración propia).	151
Figura 109. Ubicación y visualización de los componentes internos GAB-1 (elaboración propia).	152
Figura 110. Montaje del GAB 1 en la máquina (elaboración propia).	152
Figura 111. Vista explosionada de los dispositivos en el GAB-2 (elaboración propia).	153
Figura 112. Distribución y ubicación de los elementos dentro del GAB-2 (elaboración propia).	154
Figura 113. Instalación de GAB-2 en la máquina (elaboración propia).	154
Figura 114. Conexión de los suministros de alimentación (elaboración propia).	155

Figura 115. Diagrama de conexión del tablero 1 (elaboración propia).	157
Figura 116. Conexión de terminales del controlador de temperatura (elaboración propia).	158
Figura 117. Listado de etiquetas de conexión entre tableros 1 y 2 (elaboración propia).	158
Figura 118. Diagrama de conexiones en el PLC (elaboración propia).....	161
Figura 119. Diagrama simplificado de puente H de reseteo para motores de ajuste volumétrico (elaboración propia).....	162
Figura 120. Diagrama de conexión gabinete 2 (elaboración propia).	163
Figura 121. Selección del PLC y la versión que será programada (elaboración propia).	165
Figura 122. Selección de la HMI (elaboración propia).....	165
Figura 123. Creando el vínculo Profinet entre el PLC y la HMI (elaboración propia).	166
Figura 124. Configuración de salida de impulso en PWM (elaboración propia).....	166
Figura 125. Configuración de variables en PLC (elaboración propia).....	167
Figura 126. Diagrama funcional de proceso (elaboración propia).	168
Figura 127. Graficet del programa propuesto (elaboración propia).	169
Figura 128. Bloques del programa (elaboración propia).....	170
Figura 129. Segmento paro de emergencia (elaboración propia).....	171
Figura 130. Segmento 2 paro por software (elaboración propia).....	171
Figura 131. Segmento 3 revisión de las condiciones de arranque (elaboración propia).	172
Figura 132. Segmento 4 enclave simple de arranque (elaboración propia).....	173
Figura 133. Segmento 5 enclave del paro estándar (elaboración propia).....	174
Figura 134. Segmento 6 protección cuando el nivel de producto o el film se active (elaboración propia).....	174
Figura 135. Segmento 7: revisión de proceso de cambio de rollo plástico y motores de ajuste en dosificador (elaboración propia).....	175
Figura 136. Segmento 8 secuencia de cambio de bolsa plástica (elaboración propia)...	176
Figura 137. Segmento 9 ciclo de trabajo regular (elaboración propia).	176

Figura 138. Se muestran los 4 ciclos que tarda en llegar de la tolva al tubo formador (elaboración propia).....	177
Figura 139. Segmento 10 contador secuencial que marca el ritmo de trabajo (elaboración propia).	178
Figura 140. Segmento 11 secuencia de paro progresivo (elaboración propia).....	179
Figura 141. Bloque de transformación densidad- gramaje (elaboración propia).....	181
Figura 142. Convertidor de gramos a volumen (elaboración propia).....	181
Figura 143. Bloque de normalizado-escalado primera parte (elaboración propia).....	182
Figura 144. Bloque de normalizado escalado segunda parte (elaboración propia).	183
Figura 145. Activación del control del PWM (elaboración propia).....	183
Figura 146. Obtención del ID de hardware para el PWM (elaboración propia).....	184
Figura 147. Canalizando el valor de las RPM obtenido en el normalizado a la salida PWM (elaboración propia).....	184
Figura 148. Diagrama de bloques del control del PWM (elaboración propia).	185
Figura 149. Normalizado y escalado del volumen al tiempo (elaboración propia).	186
Figura 150. Tiempo de ajuste para motores (elaboración propia).	186
Figura 151. Reinicio de los motores a su posición inicial (elaboración propia).	187
Figura 152. Subrutina de tiempos de motor de selladoras (elaboración propia).....	187
Figura 153. Resistencia entre las terminales análogas (elaboración propia).....	188
Figura 154. Bloque de normalización y escalado de temperatura (elaboración propia)..	188
Figura 155. Establecimiento de los límites de operación (elaboración propia).	189
Figura 156. Contador de ciclo de temperatura y comparadores (elaboración propia).....	190
Figura 157. Comparadores de tiempo de ajuste de temperatura (elaboración propia). ..	191
Figura 158. Escalado para la obtención del set point de temperatura (elaboración propia).	191
Figura 159. Determinación de los límites de tiempo (elaboración propia).	194

Figura 160. Control proporcional para regulación de la temperatura (elaboración propia).	195
Figura 161. Diagrama de bloques del control de temperatura (elaboración propia).	195
Figura 162. Pantallas de la HMI (elaboración propia).....	196
Figura 163. Pantalla de menú principal (elaboración propia).....	197
Figura 164. Pantalla de configuración estándar (elaboración propia).....	198
Figura 165. Pantalla de configuración avanzada (elaboración propia).	199
Figura 166. Pantalla de monitoreo (elaboración propia).....	200

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones de lámina de acero AISI 316 (elaboración propia).	88
Tabla 2. Especificaciones técnicas del perfil cuadrado para la estructura (elaboración propia).	91
Tabla 3. Especificaciones técnicas motor 6IK180GU-AF (elaboración propia).	96
Tabla 4. Especificaciones técnicas del motor Pololu 131: Metal Gearmotor 37Dx57L (elaboración propia).	100
Tabla 5. Datos técnicos del motor Bringsmart DM.82SW (elaboración propia).	106
Tabla 6. Especificaciones técnicas del motor ZD Motors BC 7060 (elaboración propia).	113
Tabla 7. Especificaciones técnicas del motor ZD Motors Z5D60-24 (elaboración propia).	117
Tabla 8. Cuantificación de elementos para entradas (elaboración propia).	119
Tabla 9. Cuantificación de elementos para salidas (elaboración propia).	120
Tabla 10. Comparativa técnica de las versiones del modelo S7-1200 CPU 1214C (elaboración propia).	123
Tabla 11. Descripción de botones e indicadores seleccionados (elaboración propia). ...	127
Tabla 12. Dispositivos electrónicos con suministro eléctrico de 24 volts (elaboración propia).	131
Tabla 13. Dispositivos eléctricos con suministro eléctrico de 24 volts (elaboración propia).	132
Tabla 14. Especificaciones del gabinete NSYCRN 43200 P (elaboración propia).	145
Tabla 15. Especificaciones del gabinete NSYCRN 64250 P (elaboración propia).	147
Tabla 16. Descripción de etiquetas del tablero de conexiones 1 y 2 (elaboración propia).	159
Tabla 17. Costos de instrumentos, materiales y componentes propuestos (elaboración propia).	205
Tabla 18. Costos de instalación (elaboración propia).	206

Tabla 19. Gastos fijos considerados (elaboración propia).....	207
Tabla 20. Costo total propuesto (elaboración propia).....	208
Tabla 21. Comparación de la producción actual contra la propuesta de diseño (elaboración propia).....	209
Tabla 22. Tiempo aproximado para producir 7,200 envases (elaboración propia).	210
Tabla 23. Cálculo de producción actual e implementando la propuesta (elaboración propia).	210
Tabla 24. Clasificación de las empresas de acuerdo con el DOF (elaboración propia). .	211
Tabla 25. Cálculo de la ganancia en el proceso actual (elaboración propia).	212
Tabla 26. Cálculo de Ingresos implementando la propuesta (elaboración propia).....	213
Tabla 27. Comparativa de beneficios anuales actuales e implementando la propuesta de envasado (elaboración propia).....	214

Introducción

El presente trabajo, se refiere a la propuesta de diseño de una máquina automática para el proceso de envasado de dos productos diferentes de cacahuate, a lo largo del trabajo se abordan cuestiones relacionadas, entre otros tópicos, a las tecnologías del envasado, selección y comparativa de diversos elementos mecánicos y equipos de automatización, programación de dispositivos de control y visualización y un análisis económico que en conjunto muestren una propuesta de solución a un problema real que tiene una empresa en concreto.

Una de las características del envasado automático es que la tasa de producción de granulados depende en gran medida del tiempo empleado en el proceso de envasado del producto terminado, que puede ser realizado por maquinaria de varias gamas, las soluciones que oferta el mercado de máquinas de este tipo tienen limitaciones primeramente de precio, que para el sector económico que está enfocado este trabajo, la adquisición de un producto de tal magnitud está muy lejana, en las soluciones existentes es necesario además, que el comprador adecue sus instalaciones para soportar el uso y consumo de tecnologías neumáticas que incluyen el uso de compresores, mantenimientos constantes y por lo tanto un costo extra en la instalación por completo del proyecto, incrementando aún más el costo que ya de por si es elevado, y por si fuera poco, el envasado es realizado en una sola línea de proceso, lo que limita el incremento de la tasa de producción y eleva los tiempos de operación.

Por lo anterior, surgió el interés en buscar una solución económica y sustentable que sea capaz de envasar 2 tipos distintos de cacahuate a la vez en 2 líneas de producción equiparando y mejorando las condiciones de calidad y tiempo del proceso de envasado de cacahuate y la vez tenga un precio de venta competitivo alcanzable para la pequeña y mediana empresa.

La metodología que se siguió en la elaboración de este trabajo es de tipo explicativo, en donde se describen las técnicas y propuestas de solución de cada aspecto, analizando y comparando en cada apartado el funcionamiento de elementos de automatización como sensores, controladores lógicos programables, interfaces humano-máquina, entre otros pudiendo desarrollar una estrategia de control retroalimentado, para manipular las variables que interactúan en el proceso. Cabe señalar que el trabajo se limitará a la simulación de operación por software sin llegar a la realización de pruebas físicas, sin embargo, si se presentaran los cálculos correspondientes y justificaciones de cada solución mostrada.

En el capítulo 1, se presentan los fundamentos teóricos debidamente referenciados que soportan y dan peso al trabajo, mostrando los dispositivos de automatización, mecánicos entre otros, y su relación con el trabajo que fueron tomados en cuenta para la realización del trabajo, a fin de crear un contexto del proceso de envasado y las tecnologías utilizadas en él, dando a conocer los pormenores que influyen en el proceso.

Posteriormente, en el capítulo 2 se muestran los antecedentes que preceden al trabajo actual, se contempla una recopilación de los trabajos escritos que tienen similitudes al tema que se aborda, además, se anexan ejemplos de máquinas existentes de diversos fabricantes para establecer una comparativa entre ejemplos de soluciones y cualidades relacionadas al objeto de estudio, que sirva como guía para la propuesta de diseño que se presenta.

Finalmente, en el capítulo 3, se realiza la propuesta de solución considerando el hardware y software empleado en el proceso, detallando la selección de componentes de cada uno de los subsistemas existentes en la máquina, por medio de tablas y cálculos. Además por medio de la elaboración de modelos en el software de diseño industrial *SolidWorks*, se ilustran visualmente los diseños, que abarcan desde la tolva de alimentación de producto, pasando por el sistema de dosificación por vasos volumétricos, hasta el proceso de ajuste de sellado vertical y horizontal para que, posteriormente, por medio del software *TIA Portal*, se describa la secuencia de programación utilizada en el controlador lógico programable que ejecutara las secuencias de operación de la máquina, por último se presenta un análisis de costo-beneficio que aproxime una tentativa de cotización mostrando el valor de los distintos costos necesarios para la fabricación y puesta en marcha de la posible implementación del proyecto.

Generalidades

Planteamiento del problema

En la actualidad, el avance tecnológico ha hecho que la vida del hombre sea más práctica en las actividades que realiza día a día. Uno de estos avances ha sido que se pueda incrementar y mejorar cada una de las tareas que se requieren o que realizan los diferentes medios de producción, de forma que es posible poder optimizar los diversos procesos que intervienen en la elaboración de algún producto específico, logrando que se tengan mejores ganancias y beneficios.

En el caso particular del proyecto, se ha enfocado a un proceso específico que es el envasado de productos granulados como el cacahuate, donde la insistencia cada vez es mayor en la automatización y en la integración de sistemas en toda la línea de producción, que, a su vez, ayuda a optimizar los índices de rendimiento, eliminar los errores humanos y reducir los costos de producción. “Al integrar los sistemas de control automático, los fabricantes pueden beneficiarse de un único punto de control, aumentar y garantizar la producción, impulsar la eficiencia en la línea y mejorar el rendimiento general”¹.

La idea, parte de la observación en el proceso de envasado de diferentes tipos de cacahuate que tienen algunos negocios que se dedican a la distribución de diferentes productos. Se ha visto que se puede realizar una innovación en el proceso de envasado que manejan actualmente, donde es posible optimizar esta tarea de forma que se logre incrementar la producción que generan estos negocios, dando una opción más económica con respecto a las opciones que manejan otros proveedores que son centradas en aplicaciones industriales y cuyo precio no resulta conveniente al momento de elegir una solución. Actualmente, se ha observado que estos negocios cuentan con un proceso completamente manual y algunos otros cuentan con máquinas semiautomáticas, lo que resulta que el proceso de envasado se vea deficiente y sea necesario crear una solución que pueda ser adaptable en el proceso de envasado de cacahuates en estos negocios, sin la necesidad de pagar grandes cantidades por una máquina industrial que si bien puede cumplir su propósito, tiene condicionantes que pueden elevar aún más el costo de producción como adquirir un equipo extra para el suministro de aire y los elevados costos de mantenimiento que devienen del mismo.

Muchos de estos negocios manejan varios tipos de cacahuate, pues la demanda de cada uno suele ver variada de acuerdo con los consumidores, de forma que se vuelve más

¹ Disponible en: http://www.packaging.enfasis.com/articulos/75692-la-evolucion-el-diseno-la-maquina-ensado?utm_source=emBlue%20Email%20Marketing%20&utm_medium=Email&utm_campaign=emBlue%20%20-%20, fecha de consulta 11 de Octubre de 2019.

complicado el proceso de envasado, ya que este proceso al ser manual necesita ser realizado por una persona que envase cada tipo de producto representando un mayor tiempo debido a su naturaleza, implicando una mayor inversión en la mano de obra incrementando los costos de producción.

El mercado actual, ofrece múltiples opciones para realizar esta tarea, ya que existen diversas máquinas para el envasado de productos granulados, la mayoría de ellas se concentra en el envasado de un solo producto en una línea y, algunas otras, manejan más de una línea, pero del mismo producto, por lo que es posible incrementar la producción, pero de un solo producto a la vez. Esto genera a su vez desventajas, ya que la mayoría de estas máquinas son voluminosas y ocupan demasiado espacio, otras más necesitan de suministro de aire para el sellado, además de que debido a que las propiedades del producto a envasar están limitadas a cantidades mínimas (1-10 gramos), lo que no resulta en una opción a elegir².

Por lo anterior, se pueden observar cuales son las condicionantes que existen en las soluciones actuales, definiendo que el planteamiento del problema para el presente trabajo es el siguiente:

¿Cuál será la propuesta de diseño de una máquina automática para manipular el envasado de dos tipos de cacahuate a la vez?

Estado actual

En la actualidad la idea de desarrollar una máquina automática para el envasado de dos productos diferentes de cacahuate se origina de la observación del proceso que realizan las pequeñas y medianas empresas donde en la mayoría de ellas, el proceso se lleva a cabo de manera manual. En uno de ellos particularmente un proveedor local con nombre “Botanas Diaz”, que es una pequeña empresa dedicada a la distribución de botanas, especialmente cacahuates de diferentes tipos, donde en un inicio era necesario una persona por cada tipo de cacahuate la cual llegaba a producir 10 unidades por minuto.

Actualmente, además de que el proceso de envasado se sigue realizando manualmente, se adquirió una máquina semiautomática que ayudó a aumentar la producción a 22 unidades por minuto, no obstante, las unidades que se producen no son suficientes en

² Disponible en: <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-stick-pack/la-maquina-stickpack-para-productos-de-flujo-libre-azucar-sal/>, fecha de consulta 3 de Noviembre de 2019.

comparación con una máquina automática, además de que se tiene que parar constantemente la máquina para ingresar un tubo de bolsa preformada, puesto que no incorpora un sistema formador de bolsa entre otros defectos más.

Con base en estos criterios, es indispensable incorporar un sistema que evite el paro continuo de la máquina, obteniendo una mayor cantidad de producción y así, agilizar el proceso de envasado. Para lograr dicho objetivo, es necesario hacer el diseño y selección correcta de los elementos para los diferentes subsistemas que intervienen en el proceso del envasado.

Envasado de cacahuate

Para este proceso, la figura 1 muestra una máquina semiautomática que no es industrial sino de fabricación local, la cual, se elaboró con el propósito de simplificar las acciones que se realizaban en el envasado totalmente manual, esta máquina cuenta con dos contenedores que almacenan el producto, en cada uno de ellos se vierte un producto diferente, con el propósito de usar un solo mecanismo para formar dos envases con diferentes productos.



Figura 1. Estado actual de la máquina de envasado

El proceso de envasado de esta máquina comienza con la dosificación del producto almacenado en los contenedores, la cantidad de producto para cada envase se determina de manera manual, al interrumpir el flujo con la mano durante un periodo de tiempo, el cual es medido por el operador.

Para el envasado se necesita que la bolsa sea preformada, es decir, un tubo de lámina de polipropileno largo, el cual, se inserta por debajo del tubo donde caerá el producto, se comprime hasta tener lo suficiente que se requiera para generar el envase, se desliza manualmente hacia abajo el material en el tubo hasta quedar sobre una marca, una vez realizado esto, el operador ajusta la altura de la bolsa con una escuadra empotrada en la base de la resistencia para garantizar que todas las bolsas tengan la misma medida, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Sistema de corte manual en el estado actual de la máquina.

Posteriormente, el sellador presionará y unirá creando un envase de tipo almohada, por medio de un pedal situado en la base de la máquina, deslizando la resistencia hasta el extremo donde ejerce presión, el largo de la bolsa se calcula por la cantidad que es ingresada en el envase, por lo que no se tiene un sistema que genere un envase con medidas requeridas.



Figura 3. Sistema de sellado semiautomático en el estado actual de la máquina.

En la figura 3, del lado derecho se muestra la parte de control, este cuenta con un transformador de potencia para reducir la tensión sobre la resistencia, se utiliza un modulador por ancho de pulsos (PWM) de 2 hertz que activa un relé de estado sólido, el cual a su vez alimenta la resistencia y un potenciómetro para variar la frecuencia del PWM desde 0.5 a 2 hertz, dependiendo de la temperatura de fundición que requiere el material de envase que se esté utilizando.

El diagrama que se muestra en la figura 4, muestra el proceso de envasado que se realiza en esta máquina, observando las condiciones y las diferentes etapas que se presentan en este sistema de envasado, con el fin de identificar los aspectos que pueden optimizarse con relación a la descripción planteada anteriormente y con ellos usar las técnicas de control adecuadas para obtener los resultados fijados en un principio.

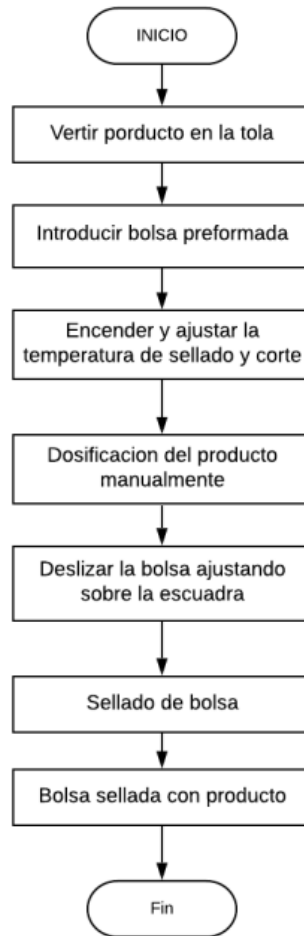


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de envasado en la máquina manual (elaboración propia).

Desventajas

Con las características mencionadas, se observa que existen deficiencias en el estado actual, una de ellas es que, para encontrar el peso correcto del envase, es necesario hacer múltiples porciones verificando si cumple con lo requerido y de no ser así se modifica el tiempo de apertura en cada prueba lo que no resulta una técnica apropiada, además, la tasa de producción se ve reducida por el sistema de dosificación, que se retrasa con relación al tiempo de apertura seleccionado.

Otro problema que se presenta, es que debido a que se tiene que ingresar nuevamente tubo de film por debajo, se necesita que el proceso pare hasta tener nuevamente material de envasado, lo que indica que las unidades que se producen se reducen aún más con los paros de este sistema que se maneja, además de crear arrugas y marcas en el envase por

la compresión que se hace en el tubo. El sistema implementado en conjunto requiere la presencia de un operador en todo momento debido a que no existe un sistema de arrastre automático que determine el momento en el que se debe sellar, además, la velocidad con la que el operador realiza esta tarea es lenta en comparación a un sistema automático, por lo que se requiere de mayor tiempo para producir la demanda de las unidades.

Propuesta de mejoras

Para la actual propuesta, se implementarán los diseños de cada subsistema que permitan mejorar las deficiencias observadas en el actual sistema de envasado, resaltando aquellos donde se implementan técnicas que solucionen las desventajas mencionadas previamente, explicando el funcionamiento y la mejora relativa en comparación al anterior. A continuación, se presentan mediante prototipos las mejoras que tendrá el sistema mencionando su respectivo funcionamiento dentro de la máquina.

Tolva

Para el diseño de la tolva, se requiere envasar dos productos diferentes, se implementará una tolva de tipo piramidal doble, como se muestra en la figura 5, esta constará con una placa de separación desmontable, que se situará en el medio permitiendo separar los productos a envasar.

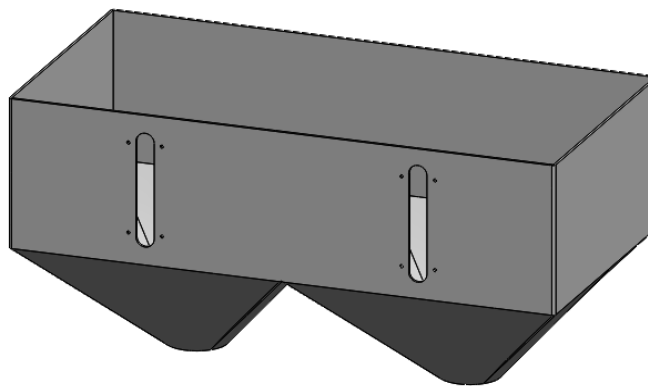


Figura 5. Prototipo de la tolva (elaboración propia).

La tolva debe tener un volumen lo suficientemente grande para almacenar una cantidad que evite el paro continuo por falta de producto, dos ranuras en el frente permitirán observar el nivel que existe en cada sección de la tolva, asimilando un diagrama que se pudiera implementar en una HMI, pero reduciendo los costos en la adquisición de sensor de mayor gama, así como de los complementos que se necesiten para su funcionamiento.

Para la placa desmontable que muestra la figura 6, se utilizará una lámina de acero con una goma de caucho superior e inferior, las cuales, se deslizan sobre unos rieles fijados a la tolva, esto permitirá separar los productos y retirarla fácilmente si se desea producir algún solo tipo de cacahuete.

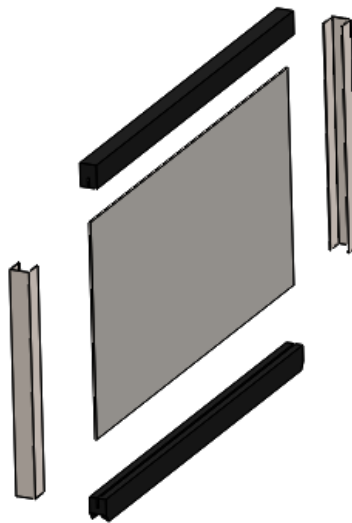


Figura 6. Prototipo de placa de separación desmontable (elaboración propia).

Alimentación

Para la alimentación del producto de la tolva hacia el dosificador, se empleará un par de tubos rectos que trasladarán el material por gravedad. Este tubo, debe ser lo suficientemente ancho para que el producto se deslice libremente sin que existan obstrucciones. En el extremo inferior de los tubos de alimentación, se colocará un anillo con escobillas; las cerdas del anillo se encargarán de retirar el producto en exceso del dosificador, la figura 7 muestra el ejemplo de estos tubos alimentadores.

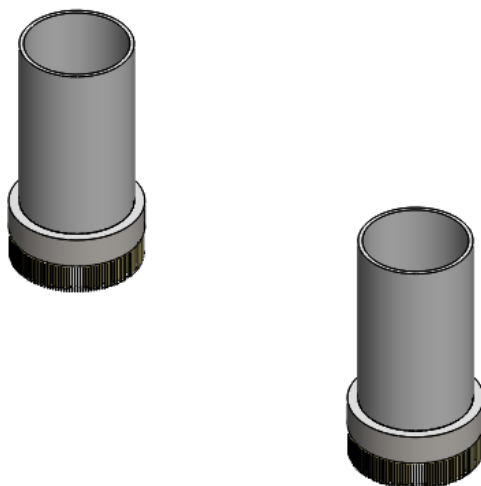


Figura 7. Prototipo de los tubos de alimentación (elaboración propia).

Dosificador

Para el sistema de dosificación, se implementará un sistema de dosificación volumétrico por vasos telescópicos que consta de 6 recipientes, el cual es un disco superior donde ingresa el producto y un disco inferior al que se sujetan los anillos del recipiente como lo muestra la figura 8. El diseño del dosificador se aplicará en el envasado de ambos productos, de modo que este pueda ser accionado mediante un solo elemento motriz.

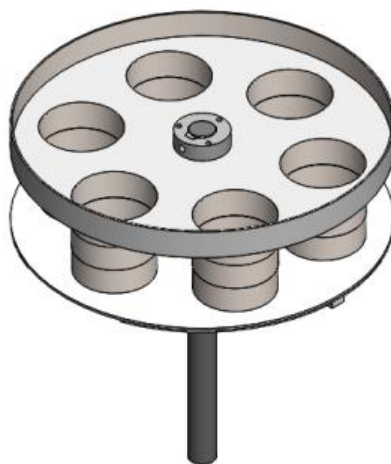


Figura 8. Prototipo del sistema de dosificación (elaboración propia).

Para modificar la cantidad de producto a envasar, el disco inferior se desliza verticalmente, extendiendo o retrayendo los vasos telescópicos, generado un volumen que contenga el

peso deseado, este sistema se aplica para ambos dosificadores por lo que, además de producir envases de productos diferentes permite también manejar porciones diferentes para cada envase. El desplazamiento de los discos telescópicos se efectúa gracias a un mecanismo de tornillo sin fin, el cual gira hacia un sentido u otro según se necesite, esto permite que el sistema se auto empotre en la posición deseada, pues el mecanismo de tornillo sin fin solo permite la transmisión del tornillo al sistema y no del sistema al tornillo, la figura 9 muestra el ejemplo de este sistema de ajuste.

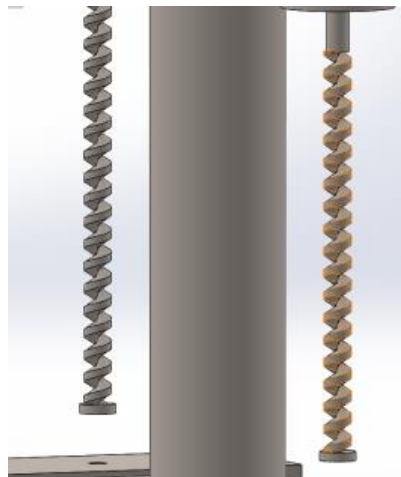


Figura 9. Prototipo del sistema de ajuste volumétrico (elaboración propia).

Formador de bolsa

Para el formador de bolsa, se tomará un diseño diferente al de las mayorías de las máquinas, este tipo de tubo formador es el que se emplea en máquinas como la envasadora VFH 5/6-G420 de *Honor Pack*³, como el que se muestra en la figura 10, donde este tipo de tubo formador se acopla a máquinas de menor gama o aquellas donde el formato de bolsa es pequeño. De esta forma, se opta por utilizar el mismo diseño en ambos tubos.

³ Disponible en: <https://honorpack.com/es/product/ensavadora-almohada-en-acero-inoxidable-para-granulos-vfh-5-6-g420/>, fecha de consulta 13 de Febrero de 2019.

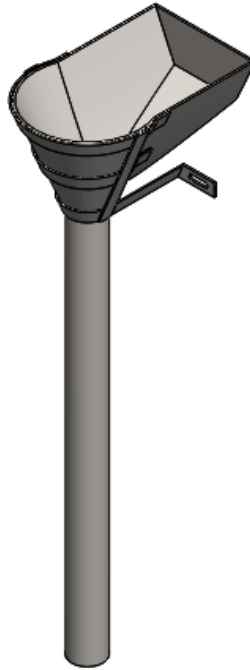


Figura 10. Prototipo del tubo formador (elaboración propia).

La película de *film* pasará por la pared externa del cono, mientras unas cintas de metal se encargarán de eliminar arrugas y alisar el plástico de envase, dando forma cilíndrica a la bolsa, además de contar con una pequeña canaleta, para evitar que cuando el producto sea descargado del dosificador, caiga al piso; al final, un pequeño corte en la última cinta, ubicará los extremos del *film* uno encima de otro para ser sellados por el centro creando una unión plana.

Sellado vertical

Para el sistema de sellado vertical, se propondrá el empleo de un accionamiento eléctrico, sustituyendo el clásico sistema neumático que utilizan las diferentes máquinas, haciendo uso de una herramienta mecánica, que además de permitirnos utilizar un motor eléctrico, para el respectivo sistema, servirá como un mecanismo que permita transferir el movimiento circular en un movimiento transversal, este accionamiento sellará ambas películas del *film*, cada una con una resistencia independiente, ya que la temperatura será establecida con la longitud que genere cada línea.

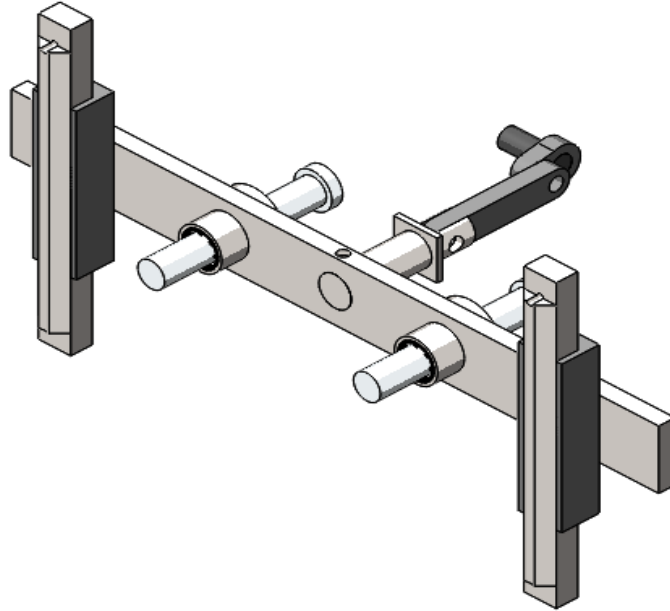


Figura 11 Prototipo de sellador vertical (elaboración propia).

Sobre el mecanismo que muestra la figura 11, se coloca una resistencia en el canal medio de cada sellador, sujeta a un resorte que la estira cuando se dilata por el calentamiento, estos quedarán detrás de los tubos formadores fusionando los dos extremos, la temperatura será medida mediante una sonda que se colocará debajo de la resistencia.

Sistema de arrastre

El sistema de arrastre, es aquel que realiza el des bobinado del rollo de *film* y determina el largo del envase, el diseño propuesto está constituido por un par de poleas dentadas separadas a una distancia específica unidos con una banda, donde se emplearan dos correas para cada tubo formador como lo muestra la figura 12, estas deslizan sobre el tubo la película de *film* previamente sellada verticalmente, su activación será generada por un algoritmo de control que determine la distancia en relación de la velocidad de arrastre en un *film* sin impresión.

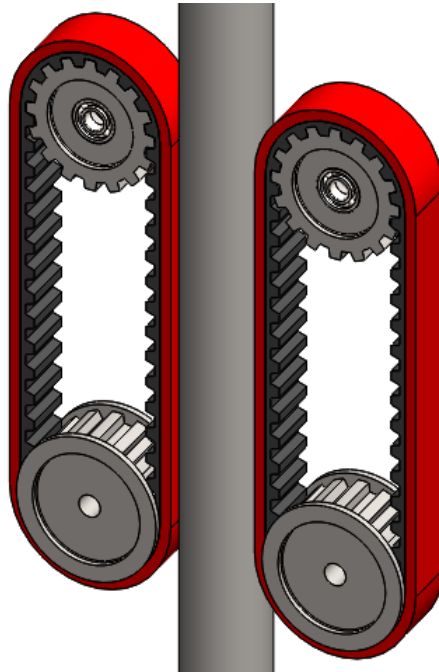


Figura 12. Prototipo del sistema de arrastre por poleas dentadas (elaboración propia).

Sellador horizontal

Para el sistema de sellado vertical, se propone usar el mismo principio de accionamiento que en sellado vertical, es decir, utilizando el sistema eléctrico, pero con la diferencia de que en este, se sellaran ambos envases con una sola resistencia, de la misma forma que se hace en el estado actual, donde se utiliza el mismo calor de la resistencia para dividir los envases, la longitud del sellador, deberá ser lo suficientemente larga para abordar las dos líneas de producción, la figura 13 muestra la propuesta de este mecanismo.

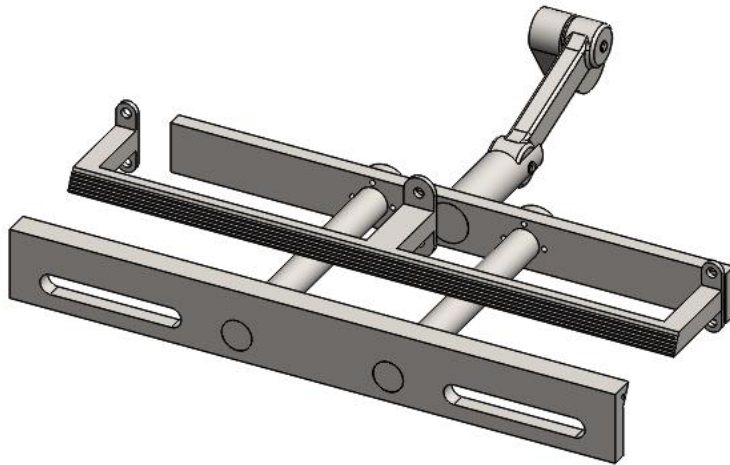


Figura 13. Prototipo del sistema de sellado vertical (elaboración propia).

Una pequeña pendiente sobre la pieza donde es montada la resistencia permitirá que el borde afilado de esta divida las unidades, en el otro extremo, una pieza con un relieve cerrado permitirá darle un acabado comercial en el borde superior, de este modo, el sellador horizontal será el elemento final en el proceso de envasado.

Tablero de control

En el tablero de control, se sitúan los elementos que han de modificar y ajustar las variables del proceso de envasado, este contará con botón de paro y arranque, así como alarmas y lámparas que indiquen el estado de algunos subsistemas, también contará con una interfaz humano-máquina, en donde se ajustaran la mayoría de las variables del sistema, el control de todas estas variables es posible simplificarlas dentro de una HMI, además de ser explicativa y comprensible para su operación, por último, también se tendrán los controles de temperatura para los sistemas de sellado. En la figura 14, se muestra una posible distribución para los elementos que conforman el tablero.

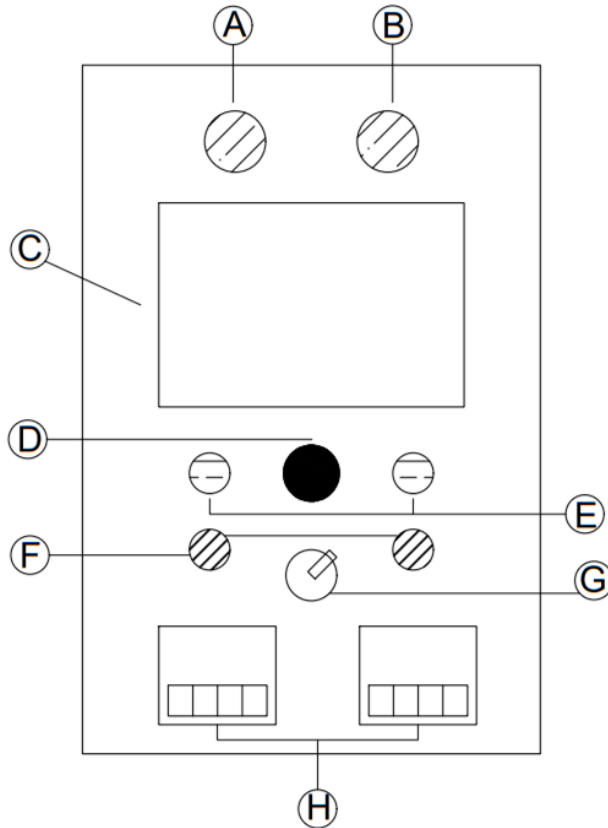


Figura 14. Partes del tablero de control de la máquina (elaboración propia).

Además, se establecerá un gabinete de secundario donde se integran los dispositivos de control y automatización, así como los elementos de potencia, de modo que los elementos no permanezcan abultados en un solo lugar y con ello tener una mejor distribución de los componentes.

En conjunto, todos los subsistemas realizarán automáticamente los pasos que se efectuaban manualmente en el proceso anterior, con ello se pretende solucionar defectos de operación, como los paros continuos debido a las condiciones de operación, asimismo ya no será necesario un operador para su trabajo, puesto que integrará elementos que den a conocer condiciones de operación en todo momento. El siguiente diagrama de flujo que representa en la figura 15, da una idea generalizada de la acción de cada subsistema para realizar el envasado.

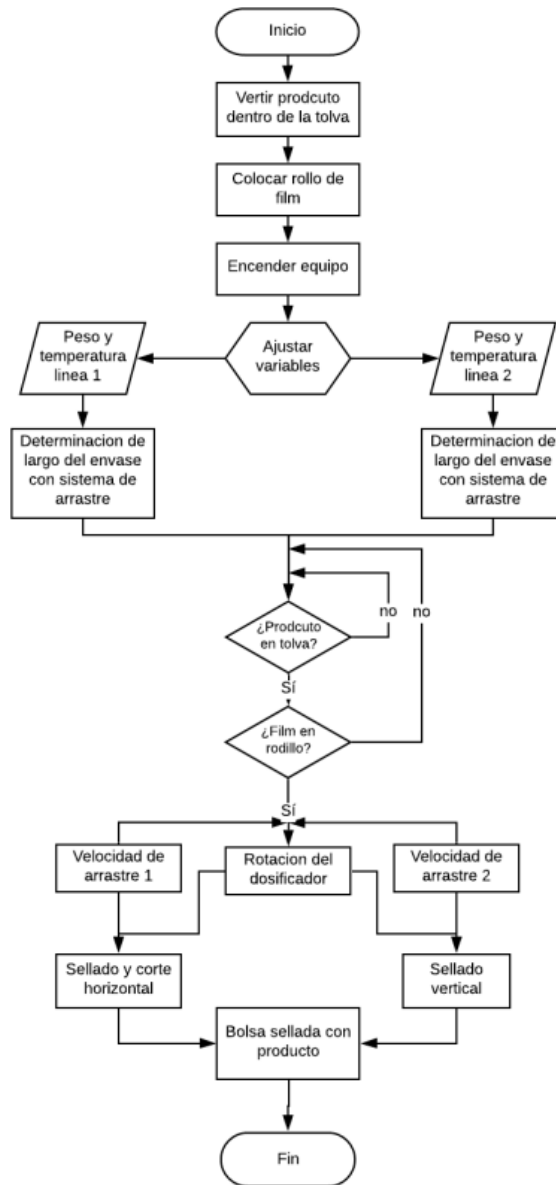


Figura 15. Diagrama de flujo del proceso de envasado de cacahuete en la máquina propuesta (elaboración propia).

Una vez recapitulado todos los aspectos que se presentan en el sistema actual y los aspectos que se plantean para corregir dichas desventajas, se determina que los prototipos mostrados en este apartado requerirán de un análisis para la selección de los componentes que solicita cada uno, de este modo las especificaciones técnicas de los dispositivos a

emplear podrán definir el comportamiento de los subsistemas y mejorar los problemas que presenta el estado actual de la máquina.

Objetivos

En el proceso de envasado de cacahuate, existen diversas opciones que se ofrecen para cada tipo de cacahuate, en su mayoría, máquinas independientes con mordaza neumática, lo anterior, indica que se necesita de una máquina individual para su envasado y algunas otras emplean sellados eléctricos, lo que genera que se tenga que invertir más en máquinas para poder envasar diferentes tipos de cacahuate, además de necesitar un mayor espacio debido a que cada tipo de cacahuate necesita de una máquina individual para su envasado por las dimensiones del tanque y sistema de dosificación que se utiliza.

La situación anterior, puede solucionarse diseñando una máquina automatizada para envasar diferentes tipos de cacahuate a la vez reduciendo costos y espacio en el proceso de envasado de cacahuate. Un ejemplo son las máquinas *Gusther 4SP* que ofrecen hasta 4 líneas de envasado⁴, sin embargo, estas máquinas sólo envasan un tipo de producto, además de que se requiere de un suministro de aire para el sellado y cortado, lo que incrementa el espacio para adaptar un proceso extra el mecanismo neumático de la máquina y a su vez los costos de producción debido al mantenimiento y servicios que requieren estos procesos extra.

Además, por las características del producto, estas máquinas que suelen ser de varias vías no son capaces de envasar las cantidades altas debido a su rango limitado y se enfocan en sobres pequeños.

Por lo anterior, se definen los objetivos del presente proyecto que, en conjunto, darán la solución a la situación planteada.

Objetivo general

Proponer el diseño de una máquina automatizada para manipular el proceso de envasado para diversos tipos de cacahuate, utilizando un controlador lógico programable (PLC), un sistema de servomotores y diversos elementos de automatización.

⁴ Disponible en: <https://www.gustherpack.com/envasado-de-granulados.html>, fecha de consulta 12 de Octubre de 2019.

Objetivos específicos

1. Proponer el diseño electromecánico de una máquina automatizada para el envasado de diversos tipos en el proceso de fabricación de cacahuate, utilizando un sistema de servomotores, motor de corriente alterna y diversos elementos electromecánicos.
2. Proponer el diseño de un sistema de control para el proceso de envasado de diversos tipos de cacahuate utilizando un controlador lógico programable (PLC) siemens, sensores y diversos elementos de automatización y control.
3. Proponer el diseño de una interfaz humano-máquina (HMI) para el monitoreo y control de las variables (peso, volumen) involucrados en el envasado de los diversos tipos de cacahuate, utilizando el software TIA PORTAL.

Justificación

Uno de los motivos principales para la realización de este proyecto, es la automatización en el proceso de envasado de cacahuates. Es sabido que en la actualidad este proceso es realizado de manera automática, pero con el inconveniente de que se reduce a una sola presentación en una línea de proceso, por lo tanto, surge la necesidad de generar una solución a esta problemática. Es pertinente decir que se busca la implementación en la industria emergente, como la pequeña y mediana empresa, para así aumentar la productividad y buscar la eficiencia en esta parte fundamental al término del proceso de producción. Entonces, ¿Qué tan conveniente es diseñar una máquina de envasado de productos granulados para dos tipos de producto en las pequeñas y medianas empresas? Para dar respuesta a esta interrogante, es necesario conocer las ofertas existentes con las que cuenta el mercado de la industria alimenticia, una de las opciones consultadas, indica un envasado de productos granulados de múltiple llenado con un rango en peso desde 100 gramos hasta 2 kilogramos de producto, pero en una sola presentación, además de que la solución que ofrecen es de tipo semiautomático.

En el presente trabajo, se diseñará una máquina capaz de envasar dos tipos diferentes de cacahuate en una misma línea de proceso, para brindar una respuesta a la pregunta planteada de si es o no conveniente diseñar una máquina de envasado para dos tipos diferentes

cacahuete y, de igual forma, se buscará aumentar la tasa de producción actual de envasado de productos granulados.

Otro de los motivos en la investigación de este tema, es que existe el antecedente de esta máquina ya en físico realizado por uno de los compañeros que integran este trabajo. En el antecedente mencionado el proceso de empaquetado es realizado de forma manual por medio de un arreglo mecánico, además, este prototipo manual se fabricó y se vendió, por tal motivo y como solución a un problema real existente que llama nuestra atención, es que se busca dar una alternativa de solución económica y sustentable. La máquina para envasado de cacahuete podría igualar y aumentar la tasa de producción de las máquinas existentes que oferta el mercado, de manera tal que, en caso de cumplir con los propósitos planteados, se podría implementar para la venta al cliente potencial que necesita la máquina para acrecentar y acelerar de forma automática el proceso de envasado de cacahuete.

La propuesta de diseño de una máquina de envasado de cacahuete se logrará a través del uso de un sistema de servomotores y de un controlador lógico programable que permita realizar los ajustes pertinentes al *set point* y a su vez el diseño de la interfaz humano-máquina (HMI).

La presente investigación ayudará a sentar las bases de diseño de máquinas para la PYME (pequeña y mediana empresa), que faciliten a este sector en la relación costo-beneficio, que se verá reflejada en el aumento de la tasa de producción del negocio actual en hasta un 40 por ciento, además, se espera que la propuesta de diseño tenga una producción por minuto de hasta 120 envases por minuto, lo anterior (de acuerdo a los precios actuales del producto) reflejaría ganancias de aproximadamente 7.5 millones de pesos anuales si se llegase a implementar la propuesta.

En el desarrollo de esta investigación se aplicarán los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería en control y automatización que se imparte en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Zacatenco, proponiendo el diseño de una máquina automatizada de envasado de cacahuete, haciendo uso de los conocimientos en control de procesos, control, de máquinas eléctricas, programación de controladores lógicos programables (PLC) y demás áreas de conocimiento que serán retratadas en el presente trabajo.

Por lo tanto, es importante delimitar y establecer los alcances de hasta donde se busca llegar y qué rubros se van a cubrir, para el diseño de la solución de envasado de cacahuete, para así emprender una ruta o un camino trazado para alcanzar los objetivos planteados.

Alcance de la investigación

De acuerdo con Fideas Arias el fin de la investigación explicativa, “se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto en la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de una hipótesis”⁵. Con base en esta definición, se buscará llegar hasta un análisis explicativo, describiendo y exponiendo el funcionamiento de la propuesta que da solución a la problemática en el proceso de envasado de cacahuates, que se tomó como referencia en el presente proyecto.

El fin de esta investigación es diseñar y explicar la propuesta de una máquina automática, en la que se puedan envasar dos tipos diferentes de cacahuete, mencionando la solución que se logra con ella al implementarse en el proceso. Mediante la aplicación de mecanismos manipulados por diversos elementos de automatización, se implementará una secuencia de control que permita realizar el envasado de cacahuates de manera automática, con base a los requisitos del envase, de modo que sea posible obtener presentaciones con productos y cantidades diferentes, y con ello aumentar la cantidad de unidades de dos productos a la vez.

Dicha propuesta de envasado de cacahuates se postulará hasta la fase de diseño, sin necesidad de elaborar un prototipo funcional, ya que la formulación del desarrollo del proyecto permitirá conocer los posibles resultados que se pueden obtener con el diseño propuesto, además de que dependiendo de las cantidades de presentación del envase que maneje cada empresa, las dimensiones de los recipientes del dosificador y la velocidad de sellado de los envases pueden variar.

Con este trabajo se busca incrementar la producción de unidades de los negocios dedicados a la distribución local de sus productos, ofreciendo una máquina automática enfocada al envasado de cacahuates para consumo como botanas, pero a la vez conservando el recurso humano, para su debido monitoreo y operación, beneficiando tanto al empresario como al trabajador, logrando hacer más eficiente el proceso.

⁵ Fideas G. Arias (2012). Proyecto de la Investigación. 6° Edición, Caracas, Ed Episteme. Pág. 26. Versión electrónica disponible en: <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.ARIAS.pdf>, fecha de consulta 03 de 2019.

Capítulo 1. Automatización del envasado de cacahuete

En este capítulo, se presenta la explicación y descripción de los elementos eléctricos, mecánicos, de control y automatización entre otros, que son utilizados en la propuesta de diseño de la máquina de envasado de cacahuete que se desarrolla. La metodología de construcción del capítulo está basada en fuentes actualizadas y en la mayoría de los casos certificadas, las cuales son el recurso auxiliar que da peso y teoriza la información presentada. En cada elemento que se presenta se estará indicando la relación que tiene con el presente proyecto, de esta manera si se desea entender un concepto o algún instrumento en particular, el lector pueda indagar en ello.

A través del capítulo se establecerán los conceptos que introduzcan y guíen al lector en temas de importancia referentes al envasado del cacahuete, tipos de envasado, tecnologías de operación, tipos de bolsas, elementos mecánicos y electromecánicos, así como las partes constitutivas del sistema de dosificación, de formado de la bolsa y de la máquina en general. La información recopilada se limitará a descripciones breves y concisas que en conjunto establezcan los criterios necesarios para el desarrollo de capítulos posteriores en los que se enfatiza la propuesta de diseño de la máquina.

1.1 Envasado de cacahuete

En forma más estricta, el envase es cualquier recipiente, lata, caja o envoltura propia para contener alguna materia o artículo. Dependiendo del producto a envasar, existen varias clasificaciones que conviene mencionar para discernir cuál es la mejor opción de acuerdo al producto que se desea envasar. Por definición, “una envasadora es aquella máquina que concentra su actividad en realizar el envasado de distintos objetos en un recipiente, para asegurar la conservación, protección, higiene y posteriormente distribución y transporte del producto”⁶.

El cacahuete, en la actualidad, es uno de los granos con un gran mercado mundial, concentrándose la producción mayormente en China e India, no obstante, México en los últimos años ha aumentado su producción; Durante el ciclo primavera-verano se produce

⁶ Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/definicion-de-envase-enzasado-empaque-y-embalaje-15316.html>, fecha de consulta 10 de Diciembre de 2019.

en promedio 96.0% de la producción nacional. Además, 67 por ciento de la producción, se obtiene bajo condiciones de temporal y el restante 33 por ciento bajo condiciones de riego⁷. Por lo que este producto tiene una gran importancia en el mercado, pues para el consumo de esta leguminosa, existen 3 variedades distintas que son los más utilizadas, en su mayoría para el comercio como botanas, además de que algunas son utilizadas para elaborar otros productos, estas variedades son:

- Runner. El tipo runner y uno de los más utilizados debido a la cantidad de tamaños que pueden encontrarse, son usados para elaborar mantequilla de cacahuate, aunque también es utilizado para en consumo como botana salados y enchilados⁸
- Virginia. Es el cacahuate con las semillas más grandes, pero también cuenta con otros tamaños más pequeños normalmente, se vende tostado o con cáscara. Las semillas más grandes y descascaradas se venden saladas y para la preparación del estilo japones⁹.
- Español. Tiene semillas más pequeñas, cubiertas por una cutícula café-rojiza. Se usa principalmente en la elaboración de dulces de cacahuate y una buena cantidad se vende como cacahuate salado y para la elaboración de crema de cacahuate¹⁰.

Cada uno de ellos cuenta cualidades específicas que destinan su proceso, el peso varía de su contenido de grasa o almidón que tengan los granos, por lo que estandarizan sus características, ya que la diferencia de la densidad aparente es mínima entre variedades, por lo cual, de acuerdo con la FAO (*Food and Agriculture Organization*)¹¹ se tiene que las especificaciones generales del cacahuate son:

- Densidad aparente (con cascara) 600 a 620 kilogramos sobre metro cuadrado
- Volumen específico 1.8 metros cúbicos sobre tonelada
- Ángulo de talud 26 a 30 grados angulares.

⁷ Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Cacahuate-un-mercado-interno-insatisfecho-20140603-0005.html>, fecha de consulta 10 de Diciembre de 2020.

⁸ Disponible en: <http://www.cacahuatesusa.com/cacahuates-de-estados-unidos/variedades>, fecha de consulta 07 de Agosto de 2020.

⁹ Íbid.

¹⁰ Íbid

¹¹ Disponible en: <http://www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm>, fecha de consulta 07 de Agosto de 2020.

Normalmente cada cacahuete tiene un proceso de preparación industrial o artesanal dependiendo de la infraestructura con la que se cuente, según sea la variedad con la que se trabaje cada uno tendrá una preparación diferente que le dará un estilo propio ya sean salados, enchilados, japoneses, garapiñados, etc. De acuerdo con los ingredientes añadidos durante su preparación, los parámetros anteriormente mencionados pueden variar, por lo que es necesario realizar mediciones de la densidad aparente, para definir la cantidad correcta de cacahuete en un volumen determinado, incluyendo los huecos en el recipiente que se generan por la geometría de los granos, de esta forma, se puede conocer la cantidad de masa de un producto granulado como el cacahuete en un recipiente con un volumen definido.

Estos datos serán utilizados para el diseño del dispositivo encargado de almacenar el producto, así como la elección de los materiales de construcción necesarios para la manipulación del producto, también se definirán las dimensiones de los recipientes encargados de generar las porciones del envase, y las dimensiones del elemento que formará el envase.

Las tecnologías que se han desarrollado para el envasado de cacahuete sugieren que sea en envases que protegen de la humedad. Cuanto más bajo sea el contenido en humedad del producto más larga será su vida, ya que por su elevado contenido en aceite es un alimento que tiende a enranciarse, perdiendo sabor y consistencia, por lo que las grandes cadenas suelen usar envases que sean herméticos o termo sellables para conservar el producto más tiempo, por lo que es importante la selección de un material de envase que ayude a conservar las propiedades de consumo del cacahuete¹². Hoy en día, es posible envasar estos productos gracias al avance tecnológico en los procesos industriales, dando origen a una gran configuración de máquinas envasadoras que se mencionan a continuación.

1.1.2 Tipos de máquinas envasadoras

Existe una cantidad innumerable de productos existentes en el mercado que son envasados, por lo tanto, es importante conocer los principales tipos de máquinas de envasado en la actualidad, para tener presente qué tipo de envasadora se plantea diseñar

¹² Disponible en: <https://www.cuerpomente.com/guia-alimentos/cacahuete>, fecha de consulta 09 de Diciembre de 2020.

y cómo es que se diferencia de entre las demás opciones existentes. La clasificación que se presenta a continuación es la más común, dentro de ella se encuentran otras ramificaciones que serán descritas, y en éstas se encontrarán las diferencias iniciales que dan paso al proceso de envasado de alimentos. Por su construcción se dividen en:

1.1.2.1 Envasadoras lineales u horizontal

Conocidas también como (HFFS) "*Horizontal form-fill-seal*"¹³, que quiere decir formado-llenado-sellado horizontal. Consiste en embalajes que se realizan en el momento del llenado, con materiales en bobina, en máquinas automáticas muy veloces, como se observa en la figura 16.

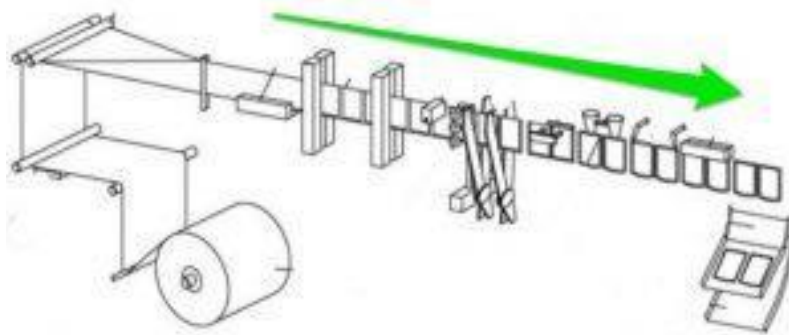


Figura 16. Envasadora horizontal¹⁴.

La envasadora horizontal, distribuye la película horizontalmente a través de las mordazas de sellado. Los envases, una vez formados, son divididos mediante cuchillas de corte y abiertos a través de ventosas de vacío, para ser dosificados con el producto deseado.

Es capaz de dosificar una gran variedad de productos tanto líquidos como sólidos y tiene la posibilidad de incorporar accesorios al envase, la construcción dispuesta en estaciones da a este tipo de máquina una gran versatilidad en la incorporación de procesos

¹³ Disponible en: <https://envasados.es/diferencia-entre-enzasado-horizontal-y-enzasado-vertical/>, fecha de consulta 15 de Diciembre de 2019.

¹⁴ Íbid.

personalizados a cada producto, además de la implementación en líneas de producción más avanzadas en donde los niveles de automatización alcanzan niveles mayores.

Este tipo de envasado dista por completo del que se plantea diseñar en la presente propuesta, pues por las cualidades anteriormente descritas, está orientada a otro tipo de aplicación, por lo tanto, no se contempla tomar como base, pero es importante mencionar su existencia y hacer notar su importancia para el conocimiento del envasado en general.

1.1.2.2 Envasadora vertical

También llamadas (VFFS) “*Vertical Form Fiel Seal*”¹⁵ que quiere decir formado-sellado vertical. Toma su nombre por la dirección que toma la película en la elaboración del envase y da una gran versatilidad para dosificar distintos tipos de producto, desde sólidos de tipo granulados de volumen reducido como semillas y legumbres hasta líquidos y polvos.



Figura 17. Envasadora vertical¹⁶.

¹⁵ Disponible en: <https://envasados.es/diferencia-entre-enzasado-horizantal-y-enzasado-vertical/>, fecha de consulta 15 de Diciembre de 2019.Íbid.

¹⁶ Íbid.

En la figura 17, se observa el principio básico de funcionamiento de la envasadora de tipo vertical, la cual, será utilizada para la propuesta de diseño que se presenta. Mediante unas correas, la película es arrastrada por el exterior del elemento tubo guía y, por el interior, es inyectado el producto a dosificar. Introducida la dosis, una mordaza selladora cierra el envase y genera, a su vez, el sellado inferior del próximo envase a dosificar, la cuchilla alojada en la mordaza selladora se encarga de separar los envases entre sí.

En el presente trabajo se contempla para el diseño de la máquina, este tipo de envasadora, pues las cualidades de manufactura que ofrece por la facilidad y capacidad en la tolva y el sistema de dosificación por gravedad que se asemeja al planteado, también, por la capacidad de implementar una distribución en las 2 líneas de producto.

1.1.3 Sistemas de dosificación

En la industria de la alimentación es muy importante la precisión en todos los procesos para conseguir un rendimiento óptimo de la producción, en este sentido, es muy importante optimizar los procedimientos con maquinarias y sistemas de dosificación cada vez más avanzados, por lo que se mencionan los que tienen que ver con la industria alimenticia. “El sistema de dosificación es un conjunto de aplicaciones enfocadas a administrar y controlar la formulación automática de ingredientes para su pesaje y mezclado”¹⁷.

Es por eso la importancia de que las cantidades correctas de producto para cada proceso sean correctas con el fin de obtener el resultado previsto en las presentaciones. “La función básica de los sistemas de dosificación es preparar cantidades predeterminadas de material en un periodo de tiempo concretado y en la relación definida”¹⁸. Las definiciones anteriores son útiles para entender la importancia de conocer los valores de volumen o masa del producto que será dosificado, ya que de ello dependerá la elección del dosificador, en este sentido se puede decir que el volumen del producto puede no ser importante si se conoce la masa del producto a dosificar, pues el resultado de dosificación, depende de las características del producto a granel, de las condiciones del entorno y del proceso de

¹⁷ Disponible en: <https://www.mcr.es/que-es-la-dosificacion-industrial/>, fecha de consulta 15 de Diciembre del 2019.

¹⁸ Disponible en: <https://blog.infaimon.com/envasadoras-definicion-y-funciones-principales/>, fecha de consulta 15 de Diciembre del 2019.

dosificación, en relación con el órgano dosificador seleccionado. En lo que respecta al procedimiento, cabe diferenciar el principio de dosificación gravimétrico del volumétrico.

1.1.3.1 Dosificación gravimétrica

Estos sistemas son capaces de regular la dosificación, compensando automáticamente las posibles desviaciones de la densidad aparente, siendo capaces de realizar un control uniforme y una supervisión completa. En la dosificación gravimétrica “se dosifica material seco a granel o líquido en un proceso con un peso constante por unidad de tiempo, ya que el peso es una variable que se puede obtener con un módulo de pesado”¹⁹. “En el principio de dosificación gravimétrico o en función del peso, una o varias células de pesaje integradas miden el material que se desea dosificar, por lo tanto, la única unidad de medida es el peso”²⁰. Si bien estos sistemas de dosificación gravimétricos suelen ser más exactos y ofrecen una mayor versatilidad en cuanto a los tipos de materiales, debido a un sensor que permite reducir las desviaciones por alguna perturbación (humedad o temperatura), no se debe dejar de lado el hecho obstatante del tiempo, que para determinar la dosis de cada envase está relacionado con el tiempo de respuesta del sensor y estos suelen ser largos por lo que se requieren más células de carga para tener una mayor producción lo que aumenta los costos de adquisición en comparación a otros. Por la información anterior esta tecnología de dosificación no será la utilizada en la propuesta de diseño actual, empero, es importante mencionar su existencia para dejar en claro las vertientes existentes que pudieran dar solución a la problemática planteada.

1.1.3.2 Dosificación volumétrica

Las máquinas que utilizan los sistemas de dosificación por volumen son a menudo utilizadas cuando el peso del producto es constante o donde su peso se define a partir del tamaño de la bolsa, por lo tanto, es común ver máquinas en el sector botanero, de granos y semillas que utilizan dosificadores volumétricos.

¹⁹ Disponible en: <http://www.coperionktron.com.es/process-equipment/feeders/technology/gravimetric-feeders-overview.cfm>, fecha de consulta 16 de Diciembre de 2019.

²⁰ Íbid.

En la dosificación volumétrica, “la expulsión del material se produce exclusivamente en función del volumen y, con ello, de las cantidades; como los dosificadores que trabajan de manera volumétrica no miden la masa, sus órganos de dosificación se tendrán que calibrar en función del material antes de cada uso: es preciso determinar qué cantidad de masa tiene que dosificar el órgano en un periodo de tiempo definido. Lo mismo se aplica también cuando se cambia el material y el lote”²¹. Además, los sistemas de dosificación volumétricos no pueden compensar automáticamente los cambios en las propiedades del material, como oscilaciones en la densidad aparente²².

Los dosificadores volumétricos “no miden la masa, sino que funcionan basados en el volumen por lo que se tendrán que calibrar antes de cada uso. Además, estos dosificadores no son capaces de compensar de forma automática los cambios en la densidad de la materia”²³. Finalmente, se menciona que la tecnología presentada anteriormente será la que se va a utilizar para realizar las tareas de dosificado del producto; de igual manera, es necesario ejemplificar las soluciones que actualmente existen.

Hay diversos tipos de dosificadores que determinan el peso requerido con base en un volumen determinado, cada uno de ellos utilizando un principio diferente, pero entre los más comunes se encuentran los siguientes.

Tornillo sinfín. Suelen ser ocupados para productos en polvo o pequeño granulado, en función del tipo de utillaje que se monte sobre la máquina. En la figura 18, se muestra básicamente en una tolva que contiene el producto a envasar y un sistema de removedores del producto, cuya función es la de forzar el llenado de las hélices del tornillo sinfín que se haya montado en la máquina. Durante la operación los hilos del tornillo transportan determinados volúmenes del producto y el túnel ayuda a guiar al material evitando la dispersión de éste. La velocidad angular del tornillo determina la velocidad de dosificación del material²⁴, como resultado, la cantidad de vueltas determina el volumen trasladado por el tornillo.

²¹ Disponible en: <http://www.plastico.com/temas/En-que-se-diferencian-los-sistemas-de-dosificacion-volumetricos-de-los-gravimetricos>, fecha de consulta 25 de Diciembre de 2019.

²² Íbid.

²³ Disponible en: <https://www.pt-mexico.com/knowledgecenter/Mezclado/Fundamentos-de-dosificacion/Comparando-Tecnologiasde-dosificacion>, fecha de consulta 25 de Diciembre de 2019.

²⁴ Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/94388/D-CD88175.pdf>, fecha de consulta 25 de Diciembre de 2020.

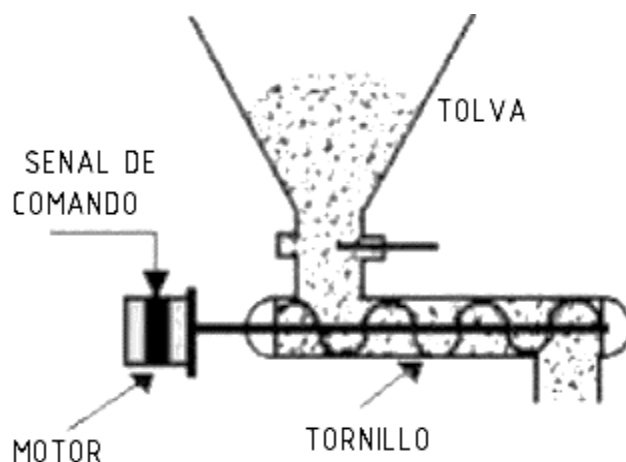


Figura 18. Sistema de dosificación por tornillo sinfín²⁵.

Pistón. Cada ciclo de llenado consiste en un cilindro de carga. En la carrera de alimentación, el producto es alimentado o succionado desde una tolva superior. En la carrera de descarga, el producto se entrega al contenedor (envase vidrio, PET, bolsa doy pack, entre otros). La cantidad de producto es ajustada por un ajuste simple de la carrera del cilindro neumático.

El ciclo de operación puede ser manual o automático, regulándose la velocidad mediante reguladores de flujo. La figura 19, muestra la representación gráfica del dosificador mencionado.

²⁵ Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9148/CB-0527751.pdf;jsessionid=236C85231F875B60C0F2588582A6EAC6?sequence=1>, fecha de consulta 25 de Diciembre del 2019.

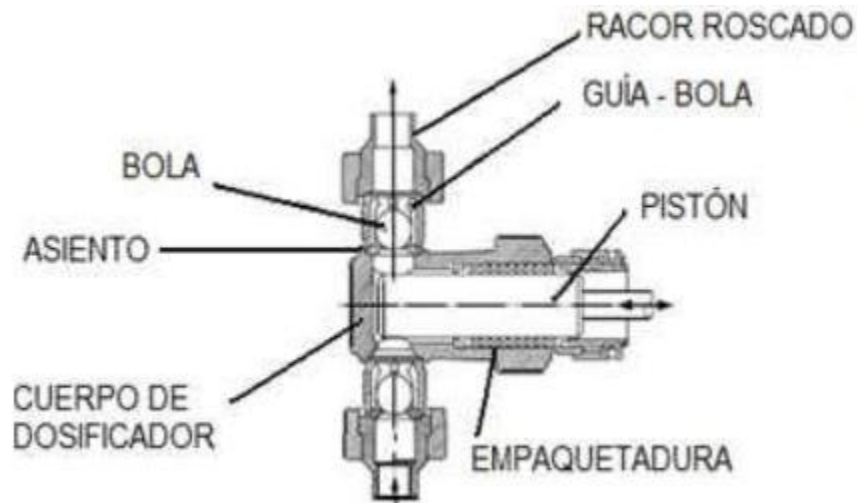


Figura 19. Sistema de dosificación por pistón²⁶.

Vasos volumétricos. Los vasos dosificadores telescópicos, miden un determinado volumen de producto, dependiendo de la velocidad de la envasadora y los rangos porción que maneja cada uno, es posible colocar 4, 6 u 8 vasos en una placa giratoria. Los vasos, se llenan por caída de producto suelto de la parte superior y luego pasan a la zona de descarga sobre la envasadora vertical.

En la mayoría de estos sistemas de dosificación, el volumen de los vasos suele ajustarse moviendo mecánicamente la sección interior de arriba abajo o, lo que es lo mismo, regulando la altura de los vasos y, en algunos otros, se implementa un ajuste electrónico en donde los productos idóneos para este dosificador son aquellos similares en cuanto a densidad y granulometría, como por ejemplo, legumbres, aceitunas, frutos secos, azúcar y todos aquellos que permitan ser dosificados por volumen ya en el caso de estos productos es posible realizar una relación de peso-volumen.

²⁶ Disponible en: <https://www.tecnoembalaje.com/dosificadores/346-dosificador-piston-100cc-alta-viscosidad.html>, fecha de consulta 27 de Diciembre de 2019.

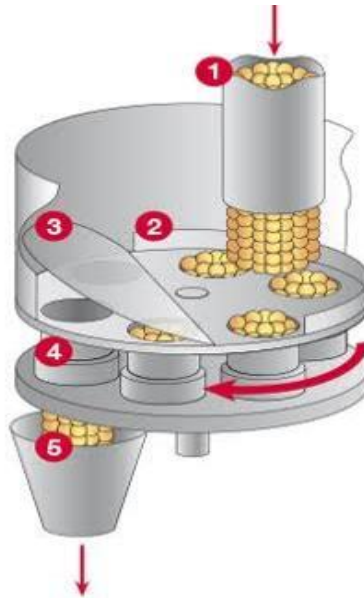


Figura 20. Sistema de dosificación por vasos volumétrico²⁷.

Para la propuesta de diseño de la máquina, se implementará el uso de esta tecnología mostrada en la figura 20, utilizando un disco de vasos telescópicos con 6 recipientes para cada tubo de cada producto, con dimensiones que nos permitan envasar de 50 a 200 gramos, ejecutando un ajuste electrónico mediante motorreductores, controlando su posición con relación al peso o volumen que se haya fijado. Por lo tanto, habiendo explicado el principio de funcionamiento y las coincidencias y diferencias entre ambos métodos de dosificación, se procederá a explicar el elemento del sistema de dosificación de vasos telescópicos, que será usado para el diseño de la máquina de envasado de cacahuete.

1.2 Tolva

Las tolvas son dispositivos que tienen fin común que es el propósito de fondo: facilitar el acarreo de un material para su transporte, almacenamiento y envasado²⁸. son ampliamente utilizados en numerosas industrias como las de procesamiento de minerales, cemento, cerámicos, alimentos, etc. Existe una amplia variedad de diseños para aplicaciones

²⁷ Disponible en: <http://www.packspainsl.com/portfolio/dosificador-volumetrico-vasos/>, fecha de consulta 27 de Diciembre de 2019.

²⁸ Disponible en: <http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/01/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>, fecha de consulta 29 de Diciembre de 2019.

particulares para cada proceso. En la figura 21, se muestran los diseños de tolvas utilizados para el almacenamiento de los materiales o producto.

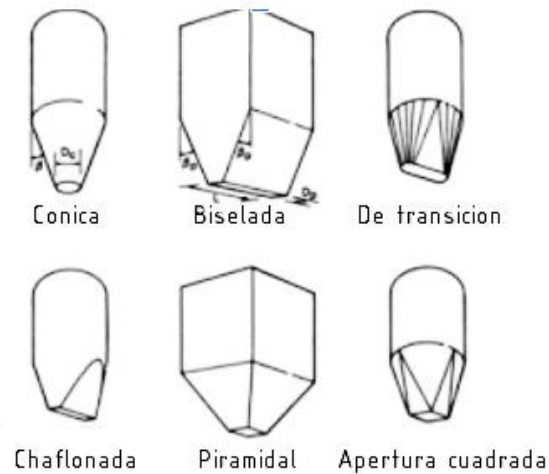


Figura 21. Tipos de tolvas ²⁹.

Dependiendo del tipo de producto que se maneje, cada tolva tendrá un tipo de flujo que puede ser másico o tubular. El flujo másico se caracteriza por el desplazamiento uniforme del material en toda la tolva durante su descarga mientras que, en el flujo tubular existe una zona de estancada a las paredes de la tolva debido al ángulo del cono que forma la parte inferior de la tolva, por lo que el diseño correcto, ayuda a disminuir la fricción en las paredes de la tolva³⁰. La figura 22, muestra las principales tolvas de flujo másico utilizadas en el sector alimenticio.

²⁹ Disponible en: <http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/01/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>, fecha de consulta: 29 de Diciembre del 2019.

³⁰ Disponible en: <https://www.iqingenieria.com/single-post/Concepto-Fluidizacion-en-Silos-o-Tolvas>, fecha de consulta 29 de Diciembre de 2019.

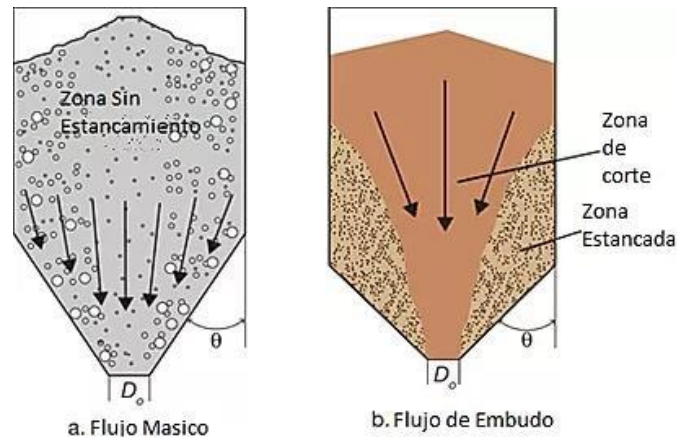


Figura 22. Tipos de flujo de los materiales en una tolva³¹.

Para el presente proyecto se implementará una tolva piramidal doble, realizando algunas modificaciones, de forma que ambas queden unidas, obteniendo una tolva piramidal con dos conos usando un diseño que permita un flujo sin estancamientos que se basará en el ángulo de talud mencionado anteriormente, colocando una placa de separación desmontable que posibilite retirarla en caso de que se desee producir un solo producto en ambas líneas. Además, que el diseño se adapta al envasado de dos productos diferentes, también se puede utilizar como una máquina para duplicar las unidades de producción.

1.3 Tubo formador

El tubo formador es una pieza donde el diseño y la precisión del conducto de entrada y el tubo formador, desempeñan un papel fundamental en la optimización del flujo del producto y deben diseñarse para adaptarse a su aplicación de empaque específica. A partir de un rollo de película de polietileno o polipropileno, una vez estirada la película, es enrollada alrededor de la corbata (es lo que da la forma o formato de la bolsa o envase) para finalmente ser sellada horizontal y verticalmente³². Dependiendo de la forma y tamaño del envase, en la figura 23, se muestran los diversos modelos que ofertan los fabricantes para el manejo de diferentes formatos.

³¹ Disponible en: <http://fortuver.com/>, fecha de consulta 29 de Diciembre del 2019.

³² Íbid.



Figura 23. Tipos de tubos formadores diferentes formatos³³.

En algunos casos, existen máquinas que manejan más de un tubo formador, un ejemplo, son las máquinas que forman sobres *stick pack*, ya que por las pequeñas cantidades que envasan es posible implementar más de un tubo con un diseño diferente que permiten envasar hasta 5 sobres a la vez.



Figura 24. Formador de envase para productos stickpack ³⁴.

La figura 24, muestra otra de las configuraciones existentes para el envasado de granulados, pero la principal diferencia con los ya mostrados es que el uso está destinado al sobre de tipo *stick*.

³³ Disponible en: <http://www.innoenvas-packaging.com/envasadoras-stickpack.html>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.

³⁴ *Ibid.*

Para la presente propuesta de diseño se implementarán dos tubos formadores, uno para la bolsa de cada producto, sin embargo, se planea crear un diseño diferente a los existentes que sea capaz de crear envases con una anchura de 60 milímetros, utilizando un diseño diferente en la corbata.

1.4 Materiales de envasado

La principal aplicación de los *films* se destina a embalaje flexible de alimentos, productos farmacéuticos y otros productos industriales. Se pueden suministrar en formatos rígidos, flexibles o semirrígidos y son tratados para ser procesados en máquinas flexográficas de impresión, coextrusión o laminación, y para aplicaciones con máquinas termo selladoras, termo formadoras, envasadoras verticales y en finales de líneas³⁵.

El polipropileno (PP) es una de las poliolefinas más versátiles. Tiene una gran capacidad para admitir cargas minerales, baja permeabilidad a la humedad, buena resistencia a la abrasión y una extraordinaria resistencia a la deformación en bisagra. Tiene unas excelentes propiedades mecánicas, ópticas y barrera³⁶. Este tipo de material es usado para crear envases termo sellables además de ser uno de los usados en la industria alimenticia por sus características no tóxicas que permiten el contacto con los alimentos, dentro de sus variaciones se tienen dos tipos que son los más usados para crear envases a partir de una bobina de *film*.

1.4.1 Polipropileno cast (CPP)

Es una buena alternativa al polietileno como capa sellante gracias a sus propiedades de brillo y sus propiedades ópticas. Es la mejor opción para el envasado de una variedad de productos grasos, desde pan hasta *snacks* o productos frescos, así como para su uso en laminación como película sellante, tanto para aplicaciones estándar como para esterilización, dadas sus excelentes características de termosellado.

³⁵ Disponible en: <https://envasados.es/tipos-de-film-para-envases/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.

³⁶ Disponible en: <http://www.plasticos-soriano.com/materiales/polipropileno/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.

1.4.2 Polipropileno Bioorientado

El Polipropileno bioorientado es un *film* de baja densidad y altas prestaciones, con excelentes propiedades mecánicas, ópticas y de barrera al vapor de agua. Es la solución más eficiente y competitiva para un gran número de aplicaciones y se ha convertido en el *film* más versátil en la industria del envase flexible.



Figura 25. Rollo de película de polietileno utilizada en envasadoras verticales³⁷.

El material que se piensa utilizar para el formado de la bolsa es el polipropileno cast, ya que como se aprecia en la figura 25, la flexibilidad, resistencia y fácil manejo del producto ayudan a realizar las actividades de empaquetado del cacahuate. Cabe señalar que el *film* de envase puede llevar impresión previa o no, esto definirá el modo de operación para el sistema encargado de establecer la longitud del envase.

1.5 Tipos de presentación de envase

Existen numerosos tipos de bolsas para empaquetado en el sector alimenticio, cada una con materiales y cualidades que conviene conocer para elegir entre la mejor opción de

³⁷ Disponible en: <https://envasados.es/tipos-de-film-para-envases/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.

acuerdo con el producto que se desea envasar, en el particular caso, se enlistan los tipos de empaque adecuados para envasadoras de tipo vertical y sus características.

1.5.1 Stick

Este tipo de empaque es conocido por su versatilidad en el mercado del envasado, si bien no es el más apropiado para el envasado de botanas, es imprescindible su mención ya que en comparación con el de tipo *pillow*, presenta ciertas características que lo hacen destacable. “El mayor beneficio del envasado en Stick Packs sobre otras formas de envasado de alimentos es su tamaño y comodidad. Los usos más comunes los encontramos en productos de uso unitario y de una sola porción como café, azúcar, farmacéuticos, etc.”³⁸; En la figura 26, se muestra un envase de este tipo de envase.



Figura 26. Empaque de tipo stick³⁹.

1.5.2 Fondo estable (4 soldaduras)

Las bolsas de 4 soldaduras y con fondo estable, son muy empleadas para el envasado de cereales, envasado de productos dietéticos, envasado de piensos para animales, etc. Este tipo de bolsas tiene soldaduras exteriores en sus cuatro extremos para darle un acabado

³⁸ Disponible en: <https://envasados.es/7-ventajas-envasado-formato-stick-pack/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.

³⁹ Disponible en: <https://www.turpack.com/stickpack/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.

especial a su envase, en la figura 27, se encuentra una representación de este tipo de bolsa de envase.



Figura 27. Bolsa de 4 soldaduras⁴⁰.

1.5.3 Pliegue inglés / Gusseted

Esta bolsa es prácticamente igual a la almohadilla clásica, la única diferencia es su fuelle, es decir, el ancho de la bolsa. Este fuelle permite tener más capacidad para introducir más cantidad de producto o productos de mayor tamaño. El conformado de la bolsa o envase es el mismo, ya que consta de dos soldaduras horizontales y una vertical. La figura 28, ilustra la información anterior.



Figura 28. Bolsa de pliegue inglés⁴¹.

⁴⁰ Disponible en: <http://irtagroup.com/bolsas/fondo-estable-4-soldaduras/>, fecha de consulta 05 de Enero del 2020.

⁴¹ Íbid.

1.5.4 Almohadilla / Pillow

Este tipo de bolsa o envase es el más extendido y estandarizado por su gran capacidad de producción y su fácil diseño. Partiendo de una bobina de film a través del tubo formador, se crea este envase que tiene dos soldaduras horizontales en los extremos y una soldadura vertical, de esta forma, la bolsa queda totalmente cerrada y estanca, como se muestra en la figura 29.



Figura 29. Empaque tipo Pillow⁴².

El empaque mostrado en la figura 29, es el que más se acopla y mejor representa el producto final del envasado, por lo que será el tipo de empaque que envasara el cacahuete, además, por sus características de diseño y de costo amigable, facilitará el comercio al sector que está enfocado este trabajo que es la pequeña y mediana empresa, y que también, en la mayoría de las presentaciones de productos como el cacahuete, este tipo de envase suele ser el más común.

1.6 Metales de grado alimenticio

Las máquinas y equipos utilizados en la industria conservera, así como los destinados al sector de la restauración, deben garantizar niveles muy altos de higiene. El acero inoxidable es casi siempre la opción obligatoria en estas áreas, gracias a su inalterabilidad. Cada

⁴² Disponible en: <https://www.lamexicanabremen.de/es/startseite/752--cacahuates-japoneses-manzela-150gr.html>, fecha de consulta 10 de Enero del 2020.

aleación tiene sus propias fortalezas y desventajas, que requieren una elección cuidadosa entre los cientos de variaciones de este material. Los procesos de elaboración para cada producto tienen factores diferentes, como diferentes temperaturas y, sobre todo, la composición química de los alimentos procesados. Con base en la FDA (*Food and Drug Administration*), se mencionan los requisitos de fabricación de las maquinarias para el manejo de productos alimenticios, sugiriendo usar un acero resistente a la oxidación como el AISI 304 o superior⁴³.

1.6.1 AISI 316

Es un acero inoxidable austenítico con un alto contenido de cromo y níquel. Como casi todos los metales, tiene un rango de temperatura de uso superior al solicitado por la preparación de alimentos. Este acero es particularmente adecuado para el contacto con alimentos porque tiene una alta resistencia a ácidos, bases y cloruros, como la sal. Otros aceros inoxidables austeníticos (como el 304) pueden desarrollar picaduras fuertes⁴⁴. El 316 es inmune a este tipo de corrosión y por esta razón, es adecuado para casi todas las aplicaciones, como se muestra en la figura 30.



Figura 30. Lamina de acero AISI 316⁴⁵.

⁴³ Disponible en: <https://jnaceros.com.pe/blog/acero-inoxidable-introduccion/industria-alimentaria/>, fecha de consulta 11 de Diciembre del 2020.

⁴⁴ Disponible en: <https://www.gasparini.com/es/blog/cual-es-mejor-acero-para-industria-alimentaria/>, fecha de consulta 11 de Diciembre de 2019.

⁴⁵ Ibid.

1.6.2 AISI 430

Desde la perspectiva de la metalurgia, el acero inoxidable AISI 430 es muy similar al 316. Tiene el mismo contenido de cromo, pero tiene un contenido de níquel más bajo, esto es lo que lo hace menos caro. Otra diferencia importante es que el AISI 430 es una aleación ferrítica, es decir, es magnética. Las aleaciones ferríticas tienen una resistencia muy alta al agrietamiento por corrosión de baja tensión, es decir, la formación de grietas en presencia de esfuerzos mecánicos en ambientes corrosivos. El acero inoxidable 430 también tiene una excelente resistencia a los ácidos orgánicos y al ácido nítrico, por lo tanto, se usa en contacto con alimentos ácidos. Por otro lado, debido al bajo contenido de níquel, esta aleación no es muy resistente a la reducción de los ácidos contenidos en algunos alimentos⁴⁶, la figura 31, muestra este tipo de acero.

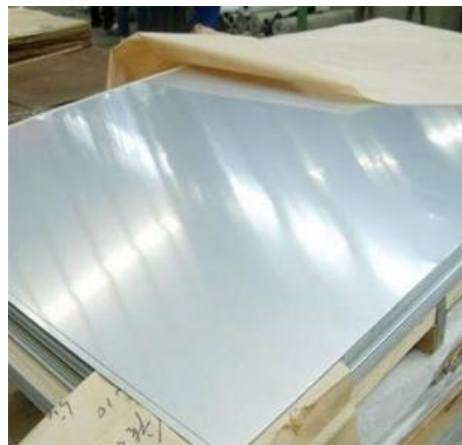


Figura 31. Lámina de acero AISI 430⁴⁷.

Para la presente propuesta de diseño, se planea utilizar acero AISI 316, ya que se adecua perfectamente al producto que se manejará. Se usará en aquellos mecanismos que están en contacto directo con el producto, como el caso de la tolva donde se pretende permanezca el producto y pueda fabricarse a partir de láminas de acero, así como los tubos de alimentación, el disco con los vasos telescópicos y el tubo formador de bolsa que son los principales elementos con los que el producto tiene contacto.

⁴⁶ Disponible en: <http://www.aceroinoxidablee.com/acero-inoxidable-tipo-430-serie-400>, fecha de consulta 12 de Diciembre de 2020.

⁴⁷ Íbid

Lo anterior, expone las tecnologías que existen para el envasado del cacahuate, desde las maquinas utilizadas para ello, mencionando los elementos necesarios para almacenar el producto y los sistemas encargados de generar las porciones, así como los elementos y materiales que conforman el envase, los cuales se encargan dar forma al envase final. Sin embargo, estas tecnologías requieren de dispositivos eléctricos y mecánicos para realizar las acciones necesarias del proceso, estas se determinarán a partir de un sistema de control.

1.7 Sistemas de control

Los sistemas de control son utilizados en diferentes procesos industriales para la producción de un producto o servicio. Katsuhiko Ogata define al control realimentado como “una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo continúa haciendo con base en esta diferencia”⁴⁸. Por lo anterior, es posible encontrar que la operación de los procesos se lleva a cabo mediante dos tipos de control, el control en lazo abierto y el control en lazo cerrado. El control en lazo abierto, se lleva a cabo con un control manual de variables utilizando sólo instrumentos simples como manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc. Por otra parte, existen sistemas donde la señal de salida afecta la señal de entrada los cuales son nombrados como sistemas de lazo cerrado, y sistemas donde la señal de salida no afecta la señal de entrada denominados sistemas de lazo abierto, para esta propuesta, el tipo de control utilizado será a lazo abierto para los subsistemas encargados de modificar las variables del sistema, solo que para este caso se implementará una técnica que con base en la señal de trabajo de los dispositivos a usar es posible modificar sus parámetros de salida el cual se menciona a continuación.

1.7.1 Control por modulación de ancho de pulsos

Una señal de modulación de ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) es un método para generar una señal analógica utilizando una fuente digital. Una señal PWM consta de dos componentes principales que definen su comportamiento: un ciclo de trabajo y una frecuencia. El ciclo de trabajo describe la cantidad de tiempo que la señal está en un estado

⁴⁸ Katsuhiko Ogata (1998). Ingeniería de control moderna. 3ª Edición, Naucalpan de Juárez, Ed. Prentice Hall Inc. Pág. 1.

alto (encendido) como un porcentaje del tiempo total que se tarda en completar un ciclo. La frecuencia determina qué tan rápido el PWM completa un ciclo y, por lo tanto, qué tan rápido cambia entre los estados alto y bajo. Al apagar y encender una señal digital a una velocidad suficientemente rápida, y con un cierto ciclo de trabajo, la salida parece comportarse como una señal analógica de voltaje constante cuando se suministra energía a los dispositivos⁴⁹. La grafica de la figura 32, muestra una simulación de una señal analógica con una señal PWM.

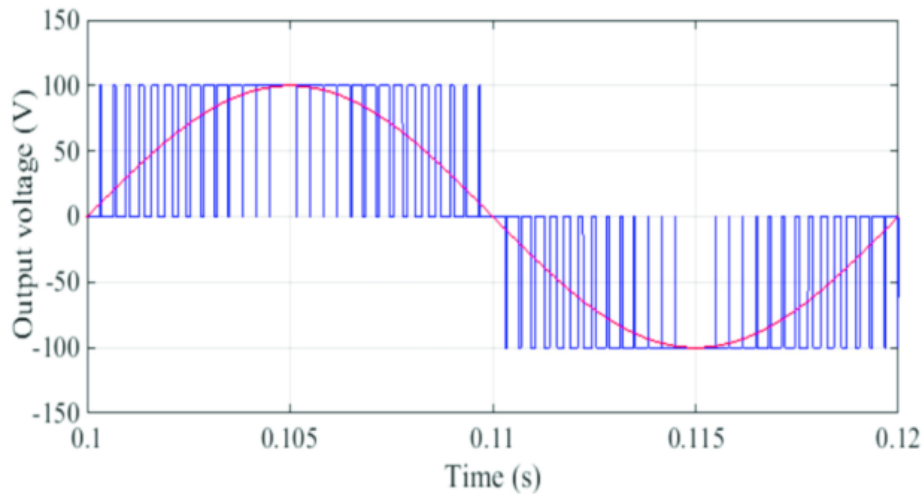


Figura 32. Gráfica de onda senoidal generada a partir de señal del PWM⁵⁰.

Las señales PWM se utilizan para una amplia variedad de aplicaciones de control. Su uso principal es para controlar motores de corriente continua, pero también puede usarse para controlar válvulas, bombas, sistemas hidráulicos y otras piezas mecánicas. La frecuencia con la que se debe establecer la señal PWM dependerá de la aplicación y del tiempo de respuesta del sistema que se está alimentando.

Este tipo de control será utilizado en dos subsistemas que son el sistema de arrastre y la temperatura de los selladores, en estos se simulara una señal digital con el fin de modificar los valores de tensión, para los sistemas de arrastre una modificación en la frecuencia definirá una velocidad con la que se desliza el film en el tubo de modo para que ambas líneas sellen los envases al mismo tiempo sin importar la longitud del envase y de igual manera en el sistema de temperatura la modificación del calor en la resistencia en el momento de

⁴⁹ Disponible en: <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019OkFSAU&l=es-ES>, fecha de consulta 28 de Enero del 2020.

⁵⁰ Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/senal-analogica/>, fecha de consulta 10 de Febrero del 2020.

sellado dependerá de la frecuencia de modulación. Estas acciones serán ejecutadas por los dispositivos de control y automatización presentes en el sistema.

1.8 Elementos de mando y control

Para la parte de fuerza y control de cualquier sistema a estudiar, es importante realizar la mención de los objetos físicos que se encargan de realizar las actividades de potencia, mando y control de los procesos que interactúan en él, además, es preciso acotar cada interacción con la máquina que se está diseñando, para entender la función que desempeñarán en el proceso y como es que se espera que estos elementos tomen acción sobre la lógica cableada del sistema, entre otros aspectos a considerar de este apartado, se mencionarán los que tienen que ver en el sistema de control electromecánico de los distintos servomotores existentes en los sistemas de sellado, corte y dosificación de la máquina de envasado de cacahuate.

1.8.1 Contactor

El contactor es un dispositivo que tiene por función habilitar o cortar un flujo de corriente. Tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando y, otra inestable, cuando actúa dicha acción, a este tipo de funcionamiento se llama todo o nada. “Un contactor es un elemento electromecánico que tiene la capacidad de establecer o interrumpir la corriente eléctrica de una carga, con la posibilidad de ser accionado a distancia mediante la utilización de elementos de comando, los cuales, están compuesto por un circuito bobina /electroimán por la cual circula una menor corriente que la de carga en sí”⁵¹. En la figura 33, se observa un modelo común de un contactor.

⁵¹ Disponible en: <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-contactor-siemens/>, fecha de consulta 26 de Enero del 2020.



Figura 33. Contactor⁵².

En el presente trabajo se empleará el uso de este dispositivo para la activación de la parte de fuerza, que consta del motor de corriente alterna encargado de mover el sistema de dosificación y que será explicado en capítulos futuros.

1.8.2 Relevador

Como elemento de conmutación en los circuitos de control, es necesario contar con dispositivos que sean capaces de realizar la activación entre circuitos de potencia en baja tensión, que se encargan de activar o desactivar circuitos de corriente alterna o directa, de acuerdo al diseño que se proponga; el relé o relevador que “es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico, en el que por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes”⁵³.

⁵² Ibid.

⁵³ Disponible en: https://es.omega.com/temperature/pdf/SSRL240_660.pdf, fecha de consulta 26 de Enero del 2020.



Figura 34. Relevador⁵⁴.

Por lo tanto, el relevador mostrado en la figura 34, será el elemento de automatización que se encargue activar los motores de corriente directa del sistema de ajuste volumétrico de modo que mediante un tiempo determinado se logre conseguir la altura necesaria en los vasos telescópicos.

1.8.3 Relevador de estado sólido

Un relé de estado sólido o SSR por sus siglas en inglés *Simple Sequence Repeat*, “es un dispositivo interruptor electrónico que conmuta el paso de la electricidad cuando una pequeña corriente es aplicada en sus terminales de control, los SSR consisten en un sensor que responde a una entrada apropiada (señal de control), un interruptor electrónico de estado sólido que conmuta el circuito de carga, y un mecanismo de acoplamiento a partir de la señal de control que activa este interruptor sin partes mecánicas”⁵⁵. El relé puede estar diseñado para conmutar corriente alterna o continua, pues realiza la misma función que el relé electromecánico, pero sin partes móviles. Un circuito integrado que funciona como un relevador mecánico. Permiten controlar cargas de alto voltaje con circuitos de control de bajo voltaje. La figura 35, muestra un modelo común de uso industrial, el cual tiene ciertas ventajas contra los relevadores electromagnéticos, como “mejorar los costos del ciclo de

⁵⁴ Disponible en: <https://www.grupoimex.com.mx/product/relevador-encapsulado-60-12-9-024-0040-finder/> , fecha de consulta 26 de Enero del 2020

⁵⁵ Disponible en: <http://www.teji.com.mx/relevadores-estado-solido-ssr.html#relevadores-funcionamiento> , fecha de consulta 10 de Marzo del 2020.

vida del sistema, con diseños simplificados con menos requisitos en cuanto a fuentes de alimentación y disipación de calor, mejoran la fiabilidad del sistema dado que no contienen piezas móviles o contactos que se degraden y son generalmente de menor tamaño que los relés magnéticos, ahorrando así un valioso espacio en aplicaciones realizadas sobre placa de circuito impreso⁵⁶.



Figura 35. Relevador de estado sólido⁵⁷.

De entre la basta cantidad y oferta que existe en el mercado actual, para el presente trabajo, se pretende que el relevador de estado sólido, sirva para ejemplificar el dispositivo que se encargará de la activación del circuito de control de temperatura del sistema de sellado, así como el sistema de arrastre, ya que la conexión de los elementos de control y potencia requieren una activación con una tensión distinta por lo que la selección de estos dispositivos dependerá del actuador que se active.

1.8.4 Controlador lógico programable

En el control de los procesos, es necesario contar con un elemento que sea capaz de realizar las actividades de manipulación, decisión y control o acción de las operaciones que intervienen en un proceso en general de manera automática. El controlador lógico

⁵⁶ Disponible en: [https://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/AN-145ES.pdf/\\$file/AN-145ES.pdf](https://www.ixysic.com/home/pdfs.nsf/www/AN-145ES.pdf/$file/AN-145ES.pdf), fecha de consulta 30 de Agosto del 2020.

⁵⁷ Disponible en: <http://i2celectronica.com/rele-modulo-rele/305-rele-de-estado-solido-ssr-40a.html>, fecha de consulta 10 de Marzo del 2020.

programable (*programmable logic controller*) o PLC, es el elemento capaz de llevar a las variables físicas tangibles a una representación digital por medio de la programación del dispositivo electrónico, en donde las secuencias a realizar son predefinidas en las entradas y salidas del controlador.

La definición que ofrece la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA); es la siguiente: “instrumento electrónico, que utiliza memoria programable para guardar instrucciones sobre la implementación de determinadas funciones, como operaciones lógicas, secuencias de acciones, especificaciones temporales, contadores y cálculos para el control mediante módulos de E/S analógicos o digitales sobre diferentes tipos de máquinas y de procesos”⁵⁸.

De acuerdo con la definición anterior, es pertinente el contextualizar cómo es que está compuesto un PLC, para entender cómo se realizan las actividades en el hardware y software, en la figura 36, se ilustran las partes principales del mismo.

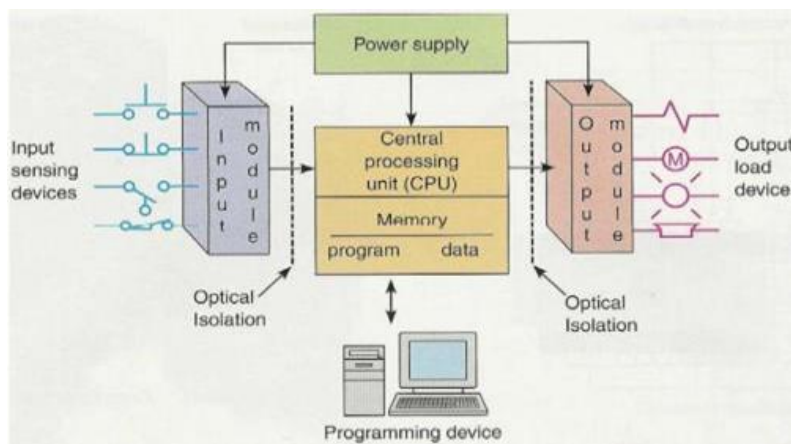


Figura 36. Partes de un PLC⁵⁹.

Para la propuesta del presente proyecto se usará un controlador lógico programable para realizar las secuencias de accionamientos de los diferentes subsistemas que integran el sistema de dosificación, de sellado y formado de la bolsa, así como de la manipulación de

⁵⁸ Disponible en: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.

⁵⁹ Disponible en: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-electrica/procesos-use-of-clp-to-completion-of-control-automatic-in-industrial>, fecha de consulta 5 de Febrero del 2020.

las variables de selección del usuario del interfaz humano máquina que en conjunto integran el control del envasado.

1.8.5 Interfaz humano máquina

De acuerdo con la propuesta de uno de los objetivos que se enlistan en este trabajo es el manejo de la herramienta computacional conocida como interfaz humano máquina o HMI por sus siglas en inglés: “*Human Machine Interface*”⁶⁰. Con el avance de las tecnologías de visualización del proceso en tiempo real, se ha ido mejorando la manera en la que se opera el mismo, es por la facilidad y ambiente amigable que se hará uso de este dispositivo como integrante del panel de control que acompaña a la máquina de envasado de cacahuate. Una interfaz de usuario asistida por ordenador, actualmente una interfaz de uso, también conocida como interfaz hombre-máquina (IHM), forma parte del programa informático que se comunica con el usuario. En ISO 9241-110, el término interfaz de usuario se define como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo"⁶¹. La figura 37, muestra una visualización gráfica de una HMI.



Figura 37. Interfaz humano máquina⁶².

⁶⁰ Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf> , fecha de consulta 5 de Febrero del 2020.

⁶¹ Disponible en: <https://www.copadata.com/es/productos/interfaz-hombre-maquina-hmi/>, fecha de consulta 5 de Febrero del 2020.

⁶² Ibid.

La interfaz del usuario permite que el operador, en ciertas circunstancias, vaya más allá del manejo de la máquina y observe el estado del equipo e intervenga en el proceso. La información se proporciona por medio de paneles de control con señales luminosas, campos de visualización o botones, o por medio de software que utiliza un sistema de visualización que se ejecuta en una terminal; permite y hace amigable la comunicación con el operario, “para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes. La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (*Ole for Process Control*)”⁶³.

En el presente trabajo, se empleará el uso de un interfaz humano máquina para la visualización y gobierno de las variables de configuración en la selección del producto a envasar, así como en la activación, paro y encendido de los distintos subsistemas de arranque de motores que componen la máquina, se pretende que el dispositivo este empotrado a un costado de la máquina para que el operador manipule y opere el sistema.

1.8.6 Software TIA portal

Para la apreciación gráfica del control en los procesos es necesario tener a la mano y en tiempo real una interfaz que nos acerque y nos represente los elementos de mando y control que manipulan a las partes de una planta, por lo tanto, es imprescindible el conocer y manejar esta valiosa herramienta computacional que ofrece soluciones de ingeniería en procesos integrados.

Por sus siglas en inglés, TIA (*Totally Integrated Automation*)⁶⁴, es la herramienta de Siemens que correlaciona las tecnologías con las que cuenta en cuanto a dispositivos de automatización y control se refiere, todos los componentes importantes de automatización están integrados en TIA Portal, por lo que se puede programar todo, desde los controladores, las unidades periféricas, pasando por las HMI, hasta la seguridad y el control de movimiento o, incluso, la administración de energía. Una base de datos coherente y

⁶³ Disponible en: <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>, fecha de consulta 30 de Agosto del 2020.

⁶⁴ Disponible en: <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html>, fecha de consulta: 5 de Febrero del 2020.

bibliotecas con funciones utilizadas comúnmente hacen que la ingeniería sea más rápida e incluso fácil.

“El hecho de integrar en una única plataforma los distintos paquetes de software industrial posibilita obtener un ahorro de hasta un 20 por ciento en ingeniería y desarrollo de nuevos proyectos de automatización, otorgando un rendimiento máximo a la inversión en ingeniería y, por tanto, permitiendo reducir los costes globales”⁶⁵; La figura 38, retrata el entorno de programación de este software.

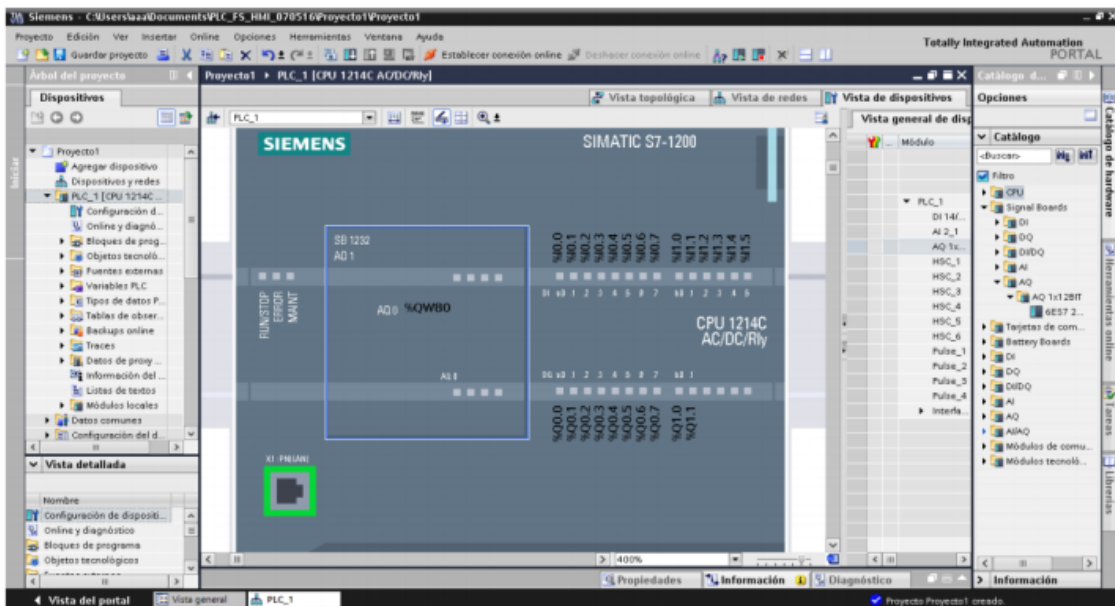


Figura 38. Entorno de programación Tia Portal (elaboración propia).

Gracias a las bondades que ofrece este software (Ambiente intuitivo, fácil aprendizaje e integración con dispositivos conocidos), será una pieza fundamental en la programación tanto del PLC como de la HMI, ambos marca Siemens, para la propuesta de diseño del software del control de motores existentes en los distintos subsistemas de la máquina.

⁶⁵ Disponible en: <https://www.infopl.net/noticias/item/254-siemens-explica-el-concepto-tia-portal-a-sus-clientes>, fecha de consulta: 5 de Febrero del 2020.

1.8.10 Controlador de temperatura

Un controlador de temperatura es un instrumento usado para la regulación de la temperatura de un elemento calorífico. El controlador tiene una entrada procedente de un sensor y tiene una salida que está conectada a un elemento de control como una resistencia. Para regular con precisión la temperatura del proceso sin la participación continua del operador, un sistema de control de temperatura se basa en un regulador, el cual acepta un sensor de temperatura tal como un termopar o RTD como entrada. Se compara la temperatura real a la temperatura de control deseada, o punto de ajuste, y proporciona una salida a un elemento de control⁶⁶. En la figura 39, se puede ver un modelo bastante común que se utiliza en ese tipo de dispositivos.



Figura 39. Controlador de temperatura⁶⁷.

El regulador de temperatura solo es una parte del sistema de control, y todo el sistema debe ser analizado para elegir un controlador adecuado dependiendo su aplicación el cual tendrá un algoritmo distinto, los cuales pueden ser los siguientes.

⁶⁶ Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html?fbclid=IwAR2svNVT6Vq-OpvBuxvxsGe-VkTosb3LBshzk9INeWFHWrDIOxMpOFRoDc>, fecha de consulta 28 de Enero de 2020.

⁶⁷ Íbid.

1.8.10.1 Controlador de temperatura on / off

Un controlador *on/off* es la forma más simple de control de temperatura. “La salida del regulador está encendida o apagada, sin un estado medio, este tipo de control cambia la salida sólo cuando la temperatura atraviesa el punto de ajuste”⁶⁸. Para el calentamiento, la salida se activa cuando la temperatura está por debajo del punto de ajuste, y se apaga cuando está por encima del mismo. Cada vez que la temperatura cruza el punto de ajuste, el estado de la salida cambia, la temperatura del proceso oscila continuamente, entre el punto de ajuste. En la regulación todo-nada, la válvula de control adopta únicamente dos posiciones, abierta o cerrada, para un valor único de la variable controlada. Este tipo de control se caracteriza por un ciclo continuo de variación de la variable controlada⁶⁹.

1.8.10.2 Controlador de temperatura proporcional

El control de temperatura proporcional elimina el ciclo asociado del control *on-off*, a diferencia del anterior, el controlador proporcional disminuye la potencia media suministrada al calentador cuando la temperatura se aproxima al punto de ajuste. “Esto tiene el efecto de disminuir la energía del calentador al aproximarse al punto de ajuste sin que lo sobrepase, manteniendo una temperatura estable”⁷⁰. La proporción de tiempo varía la relación de tiempo ‘*on*’ y tiempo ‘*off*’ para controlar la temperatura. La acción proporcional se produce dentro de una banda proporcional en torno a la temperatura objetivo. Fuera de esta banda, el controlador de temperatura se comporta como una unidad ON/OFF normal.

Para la presente propuesta el tipo de controlador que se implementará será un proporcional ya que debido a los tiempos de ejecución en los mecanismos de sellado se requiere que la temperatura de la resistencia selladora llegue en el instante en que se realiza el sellado por lo que si se usa un control *on/off* es probable que la temperatura disminuya demasiado y al momento del sellado la resistencia no tenga la temperatura suficiente para fundir el *film*, por lo que un controlador proporcional, evita que este fenómeno suceda debido a que mantiene la temperatura en una banda proporcional.

⁶⁸ Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html>, fecha de consulta 28 de Enero de 2020.

⁶⁹ Antonio Creus Solé (2010). *Instrumentación industrial*. 8ª Edición, Ciudad de México, Ed. Alfaomega. Pág. 236.

⁷⁰ Disponible en: <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html#:~:text=Controlador%20de%20temperatura%20proporcional.aproxima%20al%20punto%20de%20ajuste.>, fecha de consulta 28 de Enero del 2020.

1.9 Motores

En la actualidad, en la mayoría de los procesos se realizan operaciones de movimiento de elementos tales como carga, transportación, llenado, entre muchos otros, siendo indispensables de realizar con la ayuda de motores, lo que los hace herramientas fundamentales, y es por eso conocerlos para escoger el más adecuado de acuerdo con lo que se pretende realizar en la presente propuesta. Un motor es una máquina motriz, es decir, un aparato que convierte una forma determinada de energía en energía mecánica de rotación o par. Un motor eléctrico convierte la energía eléctrica en fuerzas de giro, por medio de la acción mutua de los campos magnéticos⁷¹. Para esta propuesta de diseño se emplearán motores tanto de corriente directa como de corriente alterna, este último será del tipo asíncrono debido a sus ventajas de par motor y bajo coste además de ser los más utilizados en maquinaria.

1.9.1 Motor de corriente alterna asíncrono

También conocido como motor tipo jaula de ardilla, en su forma instalada, es un cilindro montado en un eje, internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectados juntos en ambos extremos, poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.

Los devanados inductores en el estator de un motor de inducción instan al campo magnético a rotar alrededor del rotor. El movimiento relativo entre este campo y la rotación del rotor induce corriente eléctrica, a través de un flujo en las barras conductoras. Alternadamente, estas corrientes que fluyen longitudinalmente en los conductores reaccionan con el campo magnético del motor produciendo una fuerza que actúa tangente al rotor, dando por resultado un esfuerzo de torsión para dar vuelta al eje⁷². El efecto en el rotor, se lleva alrededor el campo magnético, pero en un índice levemente más lento de la rotación. La diferencia en velocidad, se llama deslizamiento y aumenta con la carga. La figura 40, representa un modelo muy común de este tipo de motor.

⁷¹ Robert L. Mott. *Diseño de elementos de máquinas*. 4a edición, Ciudad de México. Ed. Pearson. Pág. 796.

⁷² Disponible en: https://www.ecured.cu/Rotor_de_jaula_de_ardilla, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.



Figura 40. Motor asíncrono⁷³ .

Derivado de la explicación y sustento del tópico de motores eléctricos, es conveniente recalcar que, para el diseño propuesto en este trabajo, su principal función será el movimiento del sistema dosificador, el cual, será acoplado a un mecanismo de poleas, así como las características de este darán las medidas necesarias de dichos mecanismos para el correcto funcionamiento del sistema de dosificación.

1.9.2 Motor de corriente directa

Los motores de corriente directa o motor DC correspondiente a las iniciales en inglés “*direct current*”⁷⁴, son muy utilizados en diseños de ingeniería debido a las características torque-velocidad que poseen con diferentes configuraciones eléctricas o mecánicas. la figura 41, muestra este tipo de motores, así como las partes principales que componen a este tipo de motor.

⁷³ Robert L. Mott. Óp. Cit. Págs. 600 y 601.

⁷⁴ Disponible en: <https://www.mecatronicatam.com/es/tutoriales/motor/motores-electricos/motor-de-corriente-continua/>, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.

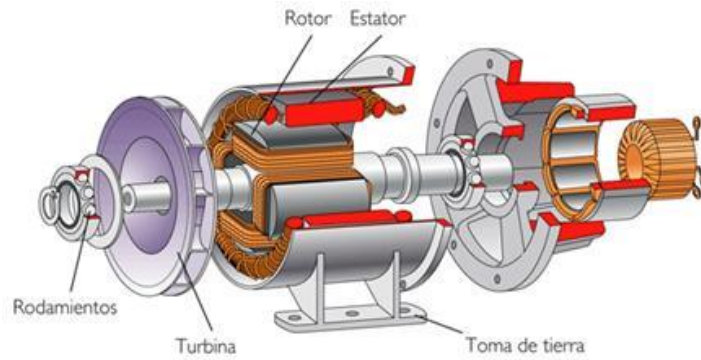


Figura 41. Motor de corriente continua⁷⁵.

Una gran ventaja de los motores de corriente directa se debe a que es posible controlarlos con suavidad y en la mayoría de los casos son reversibles, además de que responden rápidamente gracias a que cuentan con una gran razón de torque a la inercia del rotor. Otra ventaja, es la implementación del frenado dinámico, donde la energía generada por el motor realimenta a un resistor disipador, además del frenado regenerativo, cuya energía generada por el motor retroalimenta al suministro de potencia corriente directa⁷⁶. Lo anterior es muy utilizado en aplicaciones donde se deseen frenados rápidos y de gran capacidad.

1.9.2.1 Motor de Imanes permanentes

Este tipo de motor que es de corriente directa utiliza la combinación de campos magnéticos de naturaleza permanente (imanes) y campos magnéticos inducidos producidos por la corriente de excitación externa que fluye a través de los devanados del estator. La figura 42, muestra las partes principales de este tipo de motor.

⁷⁵ Disponible en: <http://motoelectrokris.blogspot.com/2014/09/motor-de-corriente-alterna-y-continua.html>, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.

⁷⁶ Disponible en: <http://motores.nichese.com/motor%20cc.htm>, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.

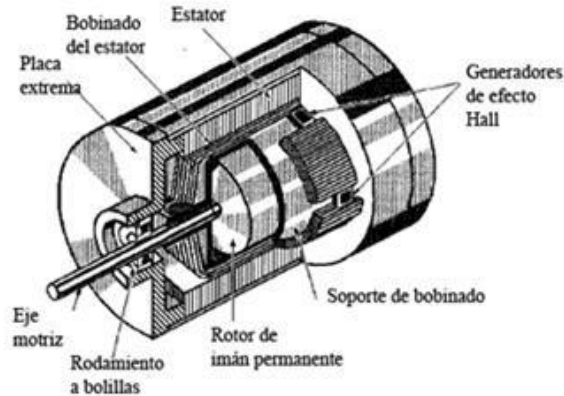


Figura 42. Motor de imanes permanentes⁷⁷.

El uso de estos motores en la actual propuesta de diseño se debe a las ventajas mencionadas, y será para el ajuste del volumen de los vasos telescópicos, los cuales, serán acoplados al mecanismo encargado de subir y bajar el disco que da la altura a los vasos y, de igual manera, se utilizarán en los mecanismos de sellado a causa de sus características en el manejo de torque-velocidad, lo cual, es lo que se controlará para estos subsistemas.

1.10 Sensores

En la mayoría de los procesos que se estudian a lo largo de la trayectoria académica, existe un elemento que realiza la detección de las variables a estudiar, de manera resumida, un sensor es el dispositivo que, de acuerdo a sus características de diseño, es capaz de realizar la detección de magnitudes físicas para convertir la información recopilada en señales eléctricas, capaces de ser entendidas por un microcontrolador y que a su vez actúen en consecuencia generando acciones predeterminadas. De la mano de la definición anterior conviene añadir otra definición que complementa la información que a continuación se presenta, el libro *sensores y actuadores*⁷⁸ indica que el término sensor se refiere a “un elemento de medición que detecta la magnitud de un parámetro físico y lo cambia por una señal que puede procesar el sistema. Al elemento activo de un sensor se le conoce comúnmente como transductor”⁷⁹.

⁷⁷ Disponible en: <https://www.dynapubli.com/noticias-PD/la-tecnologia-de-motores-de-imanes-permanentes>, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.

⁷⁸ Leonel G. Corona Ramírez (2015). Sensores y actuadores. Ciudad de México, Ed. PATRIA. Pág. 17.

⁷⁹ Íbid.

Aunque existen diversos tipos y aplicaciones del uso de estos elementos, para la propuesta de diseño de una máquina de envasado de cacahuete se mencionan sensores de tipo interruptor que pueden ser utilizado para detectar objetos como lo son el producto en la tolva o la bobina de *film*.

1.10.1 Sensor capacitivo

El sensor capacitivo es un interruptor electrónico que trabajan sin contacto, estos sensores aprovechan el efecto que tienen los materiales como el papel, vidrio, plástico, aceite, agua, así como de los metales, de aumentar la capacidad del sensor cuando se encuentran dentro del campo eléctrico generado⁸⁰, la figura 43 es un ejemplo de lo anterior. El principio de funcionamiento está basado en el uso de condensador que genera un campo eléctrico. Estos sensores se caracterizan por generar un campo electrostático en donde una o más cargas influyen el espacio que las rodea, está formado por 2 electrodos, de manera que al aproximarse un objeto al sensor e interactuar con el campo electrostático formado entre ellos, cambia la capacitancia equivalente del circuito, generando un cambio de estado en el sensor activando un circuito oscilador, el cual, a su vez dispara el circuito activador produciendo un cambio de estado de bajo a alto⁸¹.



Figura 43. Sensor capacitivo⁸².

⁸⁰ Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-proximidad-capacitivo/>, fecha de consulta: 20 de Enero del 2020.

⁸¹ Leonel G. Corona Ramírez Óp. cit. Pág. 156.

⁸² Disponible en: <https://www.celeramotion.com/zettlex/es/asistencia/documentacion-tecnica/sensores-inductivos-funcionan/>, fecha de consulta 03 de Marzo del 2020.

Debido a su bajo costo en comparación a los sensores inductivos, la facilidad de instalación y el mantenimiento mínimo requerido, es que este dispositivo será el encargado de las tareas de sensado de rango corto para la existencia de cacahuates en la tolva de alimentación y en el subsistema de detección de bobina de *film* necesario para el formado de bolsa.

1.10.2 Sensor Inductivo

Los sensores inductivos son una clase especial de sensores que sirve para detectar materiales ferrosos. Son de gran utilización en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia o ausencia de objetos metálicos en un determinado contexto: detección de paso, de atasco, de codificación y de conteo. “En un sensor de proximidad sencillo (denominado a veces interruptor de proximidad o prox), el dispositivo cuenta con suministro eléctrico, lo que provoca que fluya una corriente alterna en una bobina (denominada a veces circuito, carrete o bobinado). Cuando un objetivo conductivo o permeable magnéticamente, como un disco de acero, se acerca a la bobina, cambia su impedancia. Cuando sobrepasa el umbral, actúa como una señal de que el objetivo está presente”⁸³. La figura 44, muestra un ejemplo de este tipo de sensores.



Figura 44. Sensor inductivo⁸⁴.

La incorporación de este elemento será de gran utilidad como sensor de barrera, para realizar el corte del envase al término del sellado delimitando a la máquina para la operación

⁸³ Ídem Pág. 160.

⁸⁴ Disponible en: <https://www.grainger.com.mx/producto/SCHNEIDER-ELECTRIC-Sensor-Inductivo-de-Proximidad-Inductivo-de-5000-Hz-con-Distancia-de-Detecci%C3%B3n-m%C3%A1x-2-0mm/p/28J748>, fecha de consulta 03 de marzo del 2020.

continua, y en la detección de las rutinas de seguridad en el control de temperatura de los selladores, gracias a las capacidades de protección que en diferencia a los interruptores de limite mecánicos que pudieran ocasionar una chispa.

1.10.3 Sensor de fotocelda

Un sensor fotoeléctrico o fotocélula es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor. Todos los diferentes modos de sensado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas⁸⁵.



Figura 45. Sensor de fotocelda⁸⁶.

La figura 45, ilustra un modelo que se encuentra comúnmente en aplicaciones de sensado de colores y elementos sólidos de gran tamaño, para el presente trabajo este tipo de sensor será el elemento que realice las operaciones de detección de los niveles tanto del producto en la tolva en ambas líneas, como la cantidad de *film* en la bobina de cada línea y con ello generar una acción de interrupción debido a la falta de estos elementos.

⁸⁵ Ídem. Pág. 142.

⁸⁶ Disponible en: <http://zenotec.com/fotocelda>, fecha de consulta 02 de Marzo del 2020.

1.10.4 Termocupla

Para la medición de la temperatura en este controlador se requiere de un sensor, una termocupla es un sensor para medir la temperatura que se compone de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Según Antonio Creus Sole, “cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional a la temperatura, el termopar tipo k de Níquel-Cromo se recomienda en atmósferas oxidantes y a temperaturas de trabajo entre 500 °C y 1.250^o”⁸⁷, por lo que el elemento mostrado en la figura 46, el cual en ocasiones viene integrado con el controlador de temperatura al momento de la adquisición del producto es el más conveniente de acuerdo al diseño que se presenta.



Figura 46. Termopar tipo cúpula⁸⁸.

Para la propuesta de diseño se utilizará para monitorear la temperatura en cada una de las resistencias de sellado, donde este dato es esencial para determinar la temperatura de fusión del *film* ya que de ser poco el calor no se logrará sellar por completo y de ser muy alto puede crear orificios o arrugas en el envase.

1.11 Mecanismos

Una definición general menciona que un mecanismo es una parte mecánica de una máquina, cuya función es transmitir movimiento y fuerza de una fuente de potencia a una salida, los mecanismos “son elementos destinados a transmitir y/o transformar fuerzas y/o movimientos desde un elemento motriz a un elemento conducido, con la misión de permitir

⁸⁷ Ídem. Pág. 504.

⁸⁸ Disponible en: <https://afel.cl/producto/termocupla-tipo-k-1mt/>, fecha de consulta 29 de Enero de 2020.

al ser humano realizar determinados trabajos con mayor comodidad y menor esfuerzo”⁸⁹. Para este trabajo es necesario a partir de elementos motrices (motores), transferir un movimiento que permita generar la dinámica correspondiente de cada subsistema.

1.11.1 Biela-manivela

El mecanismo de la biela-manivela transforma un movimiento circular en otro de traslación lineal alternante o viceversa. Se consigue así un movimiento alternativo de vaivén en la biela. A la longitud de desplazamiento recibe el nombre de carrera y, su valor, depende de la longitud de la manivela (radio de giro). Cuando la manivela da una vuelta completa, la biela se desplaza una distancia igual al doble de la longitud de la manivela⁹⁰.

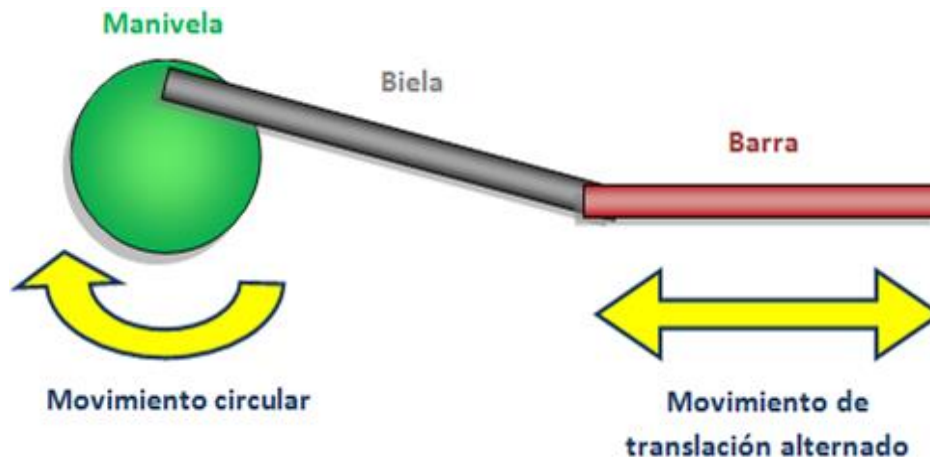


Figura 47. Mecanismo de biela-manivela⁹¹.

Por una parte, se tiene la manivela que al ser accionada genera un movimiento circular en un elemento con forma de rueda y del otro extremo, una barra que oscila con movimiento de traslación (de derecha a izquierda o de arriba a abajo). La biela es el elemento que une la rueda con la barra, es decir, que transforma el movimiento circular en el movimiento de traslación, como se muestra en la figura 47.

⁸⁹ David H. Myszka (2012). *Máquinas y Mecanismos*. Ciudad de México, Ed. Pearson. Pág. 2.

⁹⁰ David H. Myszka Op. Cit. Pág. 22.

⁹¹ Disponible en: <https://rockbotic.com/blog/maquinas-simples-biela-manivela/>, fecha de consulta 11 de Enero del 2019.

Para el presente trabajo, este mecanismo será empleado en los sistemas de sellado, tanto vertical como horizontal, de forma que el movimiento traslacional que se ejerce en la biela empuje los selladores, el vertical hacia el tubo formador y el horizontal hasta un tope donde se separan las bolsas y con ellos crear una soldadura que genere un envase cilíndrico.

1.11.2 Transmisión por polea

La polea es uno de los 5 mecanismos básicos, utilizados para transmitir y transformar la tracción y el movimiento que pasa por éstas. Constan de una rueda montada sobre un eje, con una rueda o banda que ronda la circunferencia. La función principal de una transmisión de polea o de cadena es la misma que en una transmisión de engranes. Los tres mecanismos sirven para transmitir potencia entre ejes que giran. La función de una transmisión de correa es transmitir movimiento giratorio y torque de un eje a otro suavemente, sin ruido y de manera económica⁹². Existen dos tipos de sistemas polea cuerda, la polea simple, en la cual, la polea está fija en una posición y la fuerza usada tiene una relación 1 a 1 con el peso movido y, las poleas móviles, en donde una polea está fija y la otra es móvil, repartiendo la fuerza entre las poleas y reduciendo la carrera de la cuerda.

Estos sistemas de poleas, como el que se ilustra en la figura 48, son diversos, aunque tienen algo en común, en cualquier caso, se agrupan en grupos de poleas fijas y móviles.

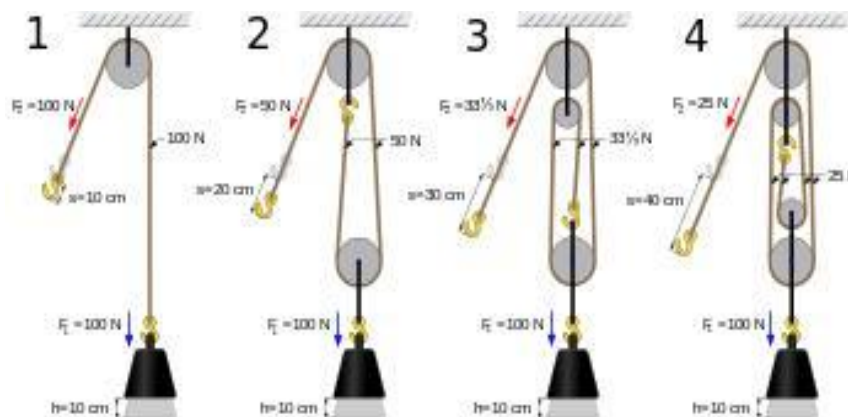


Figura 48. Diferentes sistemas de poleas⁹³.

⁹² Ídem. Págs. 302.

⁹³ Disponible en: <http://contenidos.educarex.es/mci/2009/43/TEMA5/poleas1.html>, fecha de consulta 11 de Enero del 2019.

Para la propuesta que se desarrollará, este tipo de mecanismo será utilizado para el sistema encargado de formar la bolsa, ya que constará de un eje donde se colocará un rollo de *film* y, mediante una serie de rodillos movidos mediante poleas, la película de film se estirará, de modo que no posea arrugas al momento del sellado, evitando burbujas de aire o algún otro factor que genere un desperfecto en la formación del envase. Además de integrar un sistema de poleas dentadas para el sistema de arrastre sobre las cuales se coloca una correa dentada para ejercer el deslizamiento del *film* sobre el tubo formador, y uno más para el sistema de rotación del dosificador el cual será acoplado a un motor de corriente alterna.

1.11.3 Engranajes

Un engranaje es un mecanismo donde se utiliza una rueda dentada para la transmisión de movimientos mecánicos que, por lo regular, son movimientos circulares de un eje hacia otro, ya sea que se encuentren en diferente lugar o posición, la función de un engrane es transmitir movimiento de un eje giratorio a otro. Además de transmitir movimiento, los engranes se utilizan con frecuencia para incrementar o disminuir la velocidad, o bien, para cambiar la dirección del movimiento de un eje a otro, se debe tener en cuenta que un engranaje transmite el movimiento en sentido opuesto⁹⁴. Dependiendo del tamaño de cada engranaje, se tiene una relación de transmisión diferente que son calculables de acuerdo con las aplicaciones que se le darán a los engranes. Los engranajes se pueden clasificar de diferentes maneras, pudiendo encontrar una clasificación, según el material de fabricación, de los cuales, es común encontrar engranajes metálicos o engranajes de plástico. Los mencionados a continuación son los tipos de engranajes más utilizados.

1.11.3.1 Engranaje helicoidal

Tienen una transmisión de fuerza más uniforme y segura. Se utilizan con ejes paralelos, similar a los engranajes rectos, son engranajes cilíndricos con líneas a un ángulo determinado correspondiente a sus dientes. Los engranes helicoidales son parecidos a los engranes rectos, que sirven en las mismas aplicaciones que estos. La diferencia es que los

⁹⁴ David H. Myszka. Óp. Cit. Pág. 260.

dientes de un engrane helicoidal se inclinan hacia el eje de rotación. Este tipo de engranajes crea una fuerza de empuje en la dirección axial, lo que requiere el uso de cojinetes de empuje⁹⁵. La imagen 49, ilustra la información.



Figura 49. Engranaje helicoidal ⁹⁶.

Por su accionamiento más suave, en las aplicaciones de alta velocidad es que se prefieren engranes helicoidales y en la propuesta de diseño que aquí se presenta es de gran utilidad en el sistema de correas de transmisión para el tubo formador de la máquina de envasado.

1.11.3.2 Engranaje cónico

Tienen una transmisión del movimiento que se cruzan formando un ángulo determinado. Los engranes cónicos tienen los dientes moldeados sobre una superficie cónica y sirven para transmitir movimiento entre ejes no paralelos⁹⁷. Las clases de engranajes cónicos incluyen engranajes cónicos rectos, cónicos helicoidales, cónicos en espiral, entre otros. Los engranajes cónicos, tienen una apariencia en forma de cono y se utilizan para transmitir la fuerza entre dos ejes que se intersecan en un punto. En la figura 50 se muestra el modelo del engranaje cónico.

⁹⁵ Íbid. Pág. 261.

⁹⁶ Disponible en: <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/calculo-de-engranajes-cilindricos-helicoidales-sistema-milimetrico/>, fecha de consulta 08 de Diciembre del 2019.

⁹⁷ Ídem. Pág. 261.



Figura 50. Engranaje cónico⁹⁸.

1.11.3.3 Engranaje Recto

Los engranes rectos son los más sencillos y, por consiguiente, el tipo más común de los engranes. Los dientes de un engrane recto son paralelos al eje de rotación. Los engranes rectos sirven para transmitir movimiento entre ejes paralelos, las cuales se encuentran en la mayoría de las aplicaciones. Son los más utilizados y económicos del mercado, una de sus desventajas es el ruido que generan y no pueden ser utilizados a grandes velocidades. Pertenecen al grupo de engranajes de eje paralelo y son engranajes cilíndricos con una línea recta de dientes y paralela al eje. Tienen la característica de no tener carga en la dirección axial⁹⁹, en la figura 51 se muestra la representación más común de estos engranajes.



Figura 51. Engranaje recto¹⁰⁰.

Para la propuesta de diseño de este trabajo, se empleará el uso de un sistema de en el sistema de arrastre, los cuales crearán un tren de engranes que moverán el sistema de

⁹⁸ Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/mecanica/tipos-de-engrane/>, fecha de consulta 08 de Diciembre de 2019.

⁹⁹ Íbid.

¹⁰⁰ Disponible en: <https://clr.es/blog/es/engranajes-rectos-engranajes-helicoidales/>, fecha de consulta 08 de Diciembre del 2019.

poleas dentadas, uno de ellos será accionado por un motor de corriente directa transfiriendo el movimiento al segundo engrane que se moverá en sentido contrario y de esta forma deslizar hacia abajo el tubo de *film* preformado.

Finalmente, es pertinente mencionar que la recopilación de información que se ha presentado en este capítulo sirve de base para entender primeramente las partes constitutivas del proyecto y la interacción que tienen en el tema de estudio de este trabajo, pero también son necesarios para realizar la correcta elección de los elementos que componen al diseño de la máquina. Así, con el uso de los conceptos presentados acerca de las tecnologías de envasado y conociendo las opciones que se asemejan a los objetivos definidos, se decidió proponer el uso de la dosificación por vasos volumétricos y que el envase a producir sea de tipo *pillow*. Además, la teoría brindó la información necesaria para entender los elementos mecánicos que integrarán partes importantes en la ingeniería del sistema de ajuste de bolsa.

Con base en los conocimientos adquiridos es más fácil realizar la elección concreta de los elementos de automatización que consolidan la propuesta, como sensores y actuadores, dispositivos de control electromecánico e interfaces de operación; las características de esta elección y demás aspectos que se consideran son retratados en el capítulo 3 de este trabajo en donde se mencionan los aspectos técnicos de cada elemento.

A continuación, se da inicio al segundo capítulo del trabajo que muestra los antecedentes en donde se recopila información relacionada a la propuesta que se presenta.

Capítulo 2.

Antecedentes

En este capítulo se menciona el impacto de las máquinas envasadoras verticales en los procesos industriales, así como proyectos realizados en otras instituciones donde se concentran en el envasado de diversos productos, describiendo los objetivos que planteaban con la elaboración del trabajo y cómo lograron dicha solución, realizando una comparativa de los aspectos que difieren del diseño propuesto, además de mostrar de igual forma, soluciones industriales existentes en el mercado, mencionado el enfoque de los productos a envasar y las especificaciones de operación con las que cuenta. Con esta información se muestra un panorama general de la importancia de este tipo de tecnología en los procesos alimenticios y cómo a partir de ellas, se desarrollan modelos únicos para productos específicos.

Las máquinas empacadoras VFFS (*vertical for fill sealing*, por sus siglas en inglés) de llenado y sellado vertical han sido usadas en toda la industria de alimentos durante más de cincuenta años, para envasar una gran cantidad de productos de manera rápida y fácil. En los últimos años, las máquinas comprendidas en esta categoría se han vuelto increíblemente más sofisticadas al incorporar, como nunca, mayores funciones integradas y componentes de valor agregado para hacer que el proceso de envasado sea más rápido y eficiente. El cambio en las demandas de los consumidores ha sido un factor clave en el impulso a los desarrollos en la categoría de VFFS, que generó la creación de nuevos diseños de equipos y de soluciones innovadoras que están cambiando rápidamente la industria de fabricación de alimentos¹⁰¹.

Como consecuencia, el mercado global de envasado está en plena expansión y se espera que alcance un valor de USD 125.66 mil millones para el año 2021. El mayor porcentaje de este crecimiento se espera que provenga de Asia y en particular de países como India y China proveniente de sus industrias de alimentos y bebidas que están expandiéndose rápidamente¹⁰².

Por lo tanto, es fundamental mantener objetivos de rendimiento ambiciosos y una productividad óptima. La innovación continua en esta área significa que las máquinas de envasado VFFS han evolucionado de velocidades de envasado de 60 bolsas por minuto a más de 200, dependiendo de las cantidades que envase cada máquina.

¹⁰¹ Disponible en: http://www.packaging.enfasis.com/articulos/75692-la-evolucion-el-diseno-la-maquina-ensvasado?utm_source=emBlue%20Email%20Marketing%20&utm_medium=Email&utm_campaign=emBlue%20%20-%20, fecha de consulta 13 de Noviembre de 2019.

¹⁰² Disponible en: <https://www.pmmi.org.mx/noticia/detalle/id/234>, fecha de consulta 13 de Noviembre de 2019.

Los criterios anteriores han dado paso a innovaciones, dependiendo de las aplicaciones a las que se visionen el uso de estas máquinas, desarrollando diferentes mecanismos que optimicen el proceso de envasado, en el caso de productos alimenticios se han desarrollado prototipos para diferentes productos dependiendo de sus características.

Cada una de estas opciones, implementan un mecanismo, así como acciones de control diferentes a partir de las características del producto a envasar de forma que los diseños resultan únicos dada las tareas a realizar para el envasado.

Un ejemplo de lo anterior es el proyecto presentado por Elías Acevedo Cardozo, René Meléndez Pérez y Aladid Soto Aparicio, egresados de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Zacatenco, en el que presentan el proyecto enfocado en la rehabilitación de una máquina de envasado por volumen que maneja una pequeña empresa que se dedica a la producción y distribución de diferentes frituras¹⁰³.

El principal problema de este proyecto es que la máquina sufrió un gran desgaste tanto de los sistemas mecánicos como de los sistemas eléctricos, debido a la falta de mantenimiento, lo que ocasionó que la máquina quedará fuera de operación. La propuesta que se hizo se basa en tres puntos específicos, los cuales, son:

- Modificar el sistema dosificador de la máquina, ya que con el que contaba anteriormente sólo permitía una sola presentación del producto, el proyecto propone un tornillo encargado de subir o bajar el disco; de esta forma permite el cambio de volumen en los vasos telescópicos.
- Sustituir el sistema eléctrico de control. En dicho proyecto, la forma de operación de la máquina se realiza mediante una botonera y el sistema de control es mediante relevadores, sin embargo, las condiciones en que se encontraban no permitían el correcto funcionamiento de la máquina. Para la solución de este problema, se optaba por un controlador lógico programable para la operación lógica del sistema, relevadores para la activación de los diferentes mecanismos y la integración de una interfaz humano-máquina (HMI) para el monitoreo de las variables.

¹⁰³ Disponible en:
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/22246/1/Rehabilitacion%20de%20una%20maquina%20automatica%20de%20frituras.pdf>, fecha de consulta 20 Noviembre de 2019.

- Modificar el sistema mecánico de envasado. Dentro de este punto, se pretendió cambiar el brazo formador de la bolsa, ya que con el que contaba tenía un desperfecto sobre la estructura que formaba la bolsa, haciendo que ésta se rompiera y el producto se saliera provocando pérdidas, así como el sistema de vibración en la canaleta que transportaba el producto de la tolva al brazo formador. Este sistema no tenía un control, por lo que la vibración era constante lo que ocasionaba que el producto saliera de la canaleta ante la fuerte vibración.

Con base en sus objetivos, la propuesta de proyecto logró resolver los problemas de los sistemas mecánicos, eléctricos y de control de la máquina asegurando que, ante la implementación del proyecto, la eficiencia y producción del equipo aumentará en relación con el estado en que se encontraba anteriormente.

En la parte eléctrica y de control, se logró implementar un sistema de control que optimizó el proceso de envasado, gracias a la redistribución del tablero de control implementando control de nivel realimentado, realizando una comparación en relación con el ajuste en que se requería mantener en el contenedor de media luna, así como un sistema de control PID para las resistencias encargadas del sellado vertical y horizontal de la bolsa.

Respecto al área mecánica, se logró reemplazar el sistema de dosificación y el sistema de vibración, con lo que se puede solucionar el tamaño de las presentaciones del producto, así como en el sistema de vibración; se implementó un control que regulaba las oscilaciones del actuador encargado de transportar el producto hasta la bolsa, solucionando el problema del desperdicio que generaba el anterior sistema de vibración, que ocasionaba que las frituras salieran y cayeran al suelo. También, el cambio del brazo formador fue rediseñado y construido logrando que las bolsas ya no se rompieran y dejaran de producir pérdidas.

Esta propuesta menciona mecanismos similares que se emplearán en este nuevo proyecto; como utilizar un dosificador volumétrico por vasos telescópicos que es muy utilizado para productos granulares o donde su peso se define a partir del tamaño de la bolsa que se ocupa, pero rediseñando la alimentación de la tolva a los recipientes, así como implementando un control PI para el control de la temperatura de las resistencias selladoras. Sin embargo, a diferencia del mecanismo que se ocupa para modificar el volumen de los vasos, se plantea implementar un sistema de control que permita ajustar automáticamente el volumen de los dosificadores de acuerdo con el peso requerido.

Otro proyecto para analizar proviene de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, donde se creó un prototipo de una máquina automática para pesar y envasar azúcar elaborado por Benjamín Peña Montes, Jesús Ruíz Orozco y Juan Carlos Sánchez Martínez¹⁰⁴. Este proyecto se enfocó en la construcción de un prototipo funcional para una empresa dedicada al proceso de envasado de azúcar, en donde la problemática que se plantea en este trabajo es que el proceso anterior se realizaba manualmente, lo que ocasionaba que fuera deficiente y lento, además de que las soluciones industriales no eran una opción por los altos precios que manejan los fabricantes. La propuesta de diseño del prototipo menciona los siguientes puntos:

- Elaborar un análisis de cada uno de los sistemas implicados para el desarrollo de las partes de un mecanismo que en conjunto realice la operación del envasado de azúcar, de acuerdo con variables como costo de materiales, acoplamiento, estética, entre otras. La evaluación del análisis proponía, un sistema de dosificación por canales vibratorios y un sistema de peso por celda de carga, un sistema de sellado neumático de manera vertical y un sistema de control por PLC.
- Realizar el diseño y selección de los componentes apropiados para la construcción del prototipo una vez hecho el análisis, tomando posibles configuraciones y diseñando la forma de cada componente que utilizará cada uno de los subsistemas de la máquina, proponiendo mediante un software el diseño de la forma física que tiene cada elemento.
- Realizar la construcción del prototipo de la máquina, a partir de la evaluación que se realizó mediante simulaciones de los elementos mecánicos, eléctricos y con los datos obtenidos en el análisis de la investigación.

Lo establecido en el proyecto, presenta una investigación con base a una serie de criterios para cada uno de los elementos seleccionados, el trabajo investigado, presenta los avances de manufactura de los diferentes sistemas.

¹⁰⁴ Disponible en:

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/18693/1/Prototipo%20de%20una%20m%C3%A1quina%20autom%C3%A1tica%20para%20pesar%20y%20embolsar%20az%C3%BAcar.pdf>, fecha de consulta 21 de Noviembre de 2019.

Para el sistema de pesado se implementó el sistema de control por peso, así como un control PID para el ajuste y funcionamiento del sistema de sellado, sin embargo, el proyecto no menciona un análisis más profundo en relación al control de velocidad de producción, ya que al parecer, la velocidad se define en relación al tiempo de activación de los mecanismos de sellado y corte, los cuales, ya cuentan con un tiempo fijo invariable, así como alguna acción de control implementada en el sistema de pesado que garantice la rápida respuesta del sensor, ya que en la propuesta descrita, el PLC no aporta los datos suficientes del sistema de control.

En la parte de manufactura, se logró fabricar la estructura de la tolva, así como de los canales que transportaban el producto y montarla sobre una estructura, se agregaron los respectivos sensores y se armó el diseño neumático para el sellado y cortado de la bolsa.

A pesar de ello, conforme a lo redactado en las conclusiones, se presentaron algunos percances e inconvenientes que surgieron al momento de fabricar la máquina como el sistema de dosificación que no permitía el flujo de azúcar deseado, así como piezas mecánicas y bujes que previamente se diseñaron, los cuales, no se acoplaban al ensamblado de la máquina y tuvieron que ser reemplazados.

No obstante, existen criterios que ayudan a complementar la idea del presente proyecto, como el diseño de la tolva el cual permite distribuir el producto en diferentes canales, permitiendo a su vez, el envasado para dos líneas. A esto se le agregarían algunas adaptaciones que permitan poder observar el nivel de la tolva, por el resto de la máquina, el diseño es completamente diferente.

También, se contempla que en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Zacatenco, el ingeniero Luis Alberto Márquez Tamayo presentó el diseño de un prototipo funcional de embalaje de granos automatizado que está enfocado en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) que sea capaz de envasar productos granulados como semillas de distintos tamaños y además que fuera con un bajo costo de ingeniería¹⁰⁵. El tipo de solución que ofreció es de tipo mecánica; se enfocó en la implementación de una serie de diseños de tipo mecánico y, en donde la parte de la automatización, estaba formada por un control de velocidad de un motor de corriente alterna, acoplado al eje de un engranaje mecánico, en el cual, la bobina de la película de plástico es desenrollada para

¹⁰⁵ Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12587>, fecha de consulta 21 de Noviembre de 2019.

conducirla al formador de manera casi lineal; Además, existen en el diseño una serie de motores de corriente alterna y directa que son utilizados en varios subsistemas del prototipo, por ejemplo, en el proceso de sellado hacen uso de la transferencia, de energía eléctrica utilizable para la alimentación del sistema, en energía térmica utilizada en el sellador, a su vez, implementan la tecnología neumática con actuadores neumáticos (valga la redundancia) que son utilizados en el sistema de sellado horizontal, componentes de tipo mecánico como bandas, poleas y demás elementos que aseguran el proceso de envasado.

El objetivo general fue el siguiente:

- Emplear ingeniería y tecnología mexicana para el diseño de un prototipo funcional de embalaje de granos automatizado, el cual, permita realizar el empaquetado de productos de forma limpia, rápida, económica y eficiente.

Los objetivos particulares fueron:

- Diseñar los sistemas y subsistemas necesarios.
- Diseñar la estructura del equipo y la integración de los sistemas.
- Documentar los cálculos de los elementos más críticos.
- Generar los planos y la documentación necesaria para su fabricación.

Finalmente, se concluye que de los objetivos que se plantearon, se logró cumplir con cada uno de ellos presentando como resultados, los diseños en AutoCAD en 3D que apoyaron su prototipo, además, todo el trabajo estaba sustentado por los cálculos mecánicos de selección de los elementos, así como de los desplazamientos, revoluciones por minuto de motores, esfuerzos, entre otros, de cada sistema que interviene en el diseño, en gran parte porque ese es el grado que el aspirante desea alcanzar para esta tesis de maestría.

En cuanto a la generación de los planos y la documentación para su fabricación, ésta fue construida en una serie de planos en formato A4 que ilustra los diseños realizados para diversas aplicaciones mecánicas, poleas y mecanismos que están implícitos en el prototipo. Por otro lado, se encontró, en la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, el diseño de una máquina empaquetadora de paletas y congeladas realizado por Alain Castillo González, Mario Figueroa Hernández y Ulises Pérez

Cruz¹⁰⁶. Esta tesis aborda el diseño de una máquina híbrida de diseño vertical/horizontal, permitiendo que se pueda envasar sólidos y líquidos con sólo intercambiar algunos dispositivos específicos, lo que la vuelve sumamente versátil.

Ésta es dirigida a las (PYMES), puesto que su idea es hacerla económica utilizando módulos específicos. El diseño modular de la máquina facilita mucho la reparación de ésta abaratando costos, así como pudiendo ser vendida por partes, incrementando los márgenes de utilidad dependiendo del destino de su uso. El proyecto anterior, plantea objetivos específicos que son necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina, los cuales, eran:

- Diseñar un sistema de dosificación intercambiable que funcionara, tanto para líquidos, como para sólidos.
- Diseñar un sistema de formado y sellado de la bolsa utilizando un accionamiento neumático.
- Desarrollar un algoritmo de operación para cada uno de los dos diferentes productos a partir de las modificaciones que se realizan.

Sus objetivos específicos estaban exclusivamente concentrados en cada aspecto de la máquina; se implementó un sistema de dosificación en banda, para el caso de las paletas y un tanque regulando el paso del fluido con un motorreductor, para el caso de los líquidos.

Para el sistema de control, el proyecto describe una lógica de sincronización para cada uno de los mecanismos involucrados en el proceso, utilizando un controlador lógico programable (PLC), sin embargo, no se menciona alguna acción o método específico para el control de uno de los subsistemas, por lo que puede definirse como un control de lazo abierto y sólo se presenta el análisis del diseño de cada uno de los mecanismos.

No obstante, al enfocarse mucho en el aspecto de versatilidad de esta, descuida otros aspectos clave de una máquina empaquetadora, como la velocidad de empaque, pudiendo empacar sólo 45 piezas por minuto, velocidad poco competitiva en el mercado actual. Así como sacrificando el ajuste de longitud de la bolsa y de empaque para la paleta, estando fijado para 5 tamaños exclusivamente. Sin embargo, bajo la premisa de la máquina modular, esto se podría corregir en futuras versiones del proyecto.

¹⁰⁶ Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12595>, fecha de consulta 21 de Noviembre de 2019.

En cuanto a las soluciones industriales, existen diversas opciones que son adaptables, con base en el producto que se desee envasar, así como del tamaño y las presentaciones que se requieran, por lo que algunas opciones tienden a ser muy específicas de los productos de envasado y, en otras, es posible realizar configuraciones en cuanto al tipo de dosificador. Las siguientes opciones industriales que se presentan a continuación, son ejemplos para productos específicos, así como niveles de producción que se pretendan alcanzar seleccionando la configuración correspondiente.



Figura 52. Máquina de envasado vertical VFFS para productos de grano /llenado de vasos volumétricos¹⁰⁷.

La máquina que se observa en la figura 52, es de llenado de la taza volumétrica, la cual es ideal para envasar azúcar, café granulado, café, arroz, sal, nueces, lentejas, legumbres, avellanas, cacahuates, semillas y otros tipos de productos de grano. Esta máquina, es adecuada para productos granulares pequeños y de líquido libre. El peso volumétrico de los productos se calcula por tazas; el peso es extremadamente sensible por lo que cada

¹⁰⁷ Disponible en: <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-ensado-vertical/maquinas-de-ensado-vertical-vffs-para-productos-de-grano-llenado-de-vasos-volumetricos/>, fecha de consulta 21 de Noviembre del 2019.

taza proporciona la misma cantidad de producto. El volumen de las tasas volumétricas se puede ajustar de producto a producto.

En cuanto a las especificaciones técnicas, conviene mencionar que el rango de peso es de 20-5000 gramos, en comparación al planteado en este trabajo, esperando que el rango mínimo de peso sea de 50 gramos, en cuanto a las dimensiones de ancho y largo de la bolsa es de 60-250 milímetros por 60-350 milímetros, ambos ajustables¹⁰⁸. El sistema de llenado trabaja a una velocidad de 30-50 bolsas por minuto. Esta máquina cuenta con algunas características adicionales proporcionadas, como son el sistema de impresión de fecha y la cinta transportadora.

En relación a la propuesta de diseño en el presente trabajo, se puede comentar que las tecnologías que se aplican en esta envasadora, como lo es la automatización con el sistema de dosificado de manera vertical, será una guía que conviene seguir, si lo que se desea envasar sea del tamaño de un cacahuate, pues la máquina descrita anteriormente es capaz de envasar una cantidad considerable de producto en un tiempo adecuado para la capacidad del sistema de dosificado y la tecnología de dosificación volumétrica, serán puntos de partida en la presente propuesta de diseño. La velocidad que indica la máquina de envasado vertical es con diferencia de la que se muestra en el presente trabajo, inferior debido a los rangos de peso y los anchos de la bolsa con las que se fabrica el producto, pues el granulado con el que trabaja la actual envasadora es de volumen mínimo y de líquido libre.

¹⁰⁸ Disponible en: http://intertec.com.co/productos/empacadoras_verticales/Empacadora_Vertical_eco_PE_laminados.php, fecha de consulta 21 de Noviembre del 2019.



Figura 53. Empacadora Vertical eco PE y/o laminados¹⁰⁹.

La máquina que se observa en la figura 53 está diseñada y fabricada para uso en el campo de los productos alimenticios, especialmente empaque de productos granulados secos. El proceso de elaboración, medida, llenado, sellado, corte y codificación de la bolsa se realiza automáticamente. El material de empaque incluye varios tipos de laminados termo sellables en caliente como PET/plataado AL/PE, PET/PE y Nylon logrando una capacidad de producción de 16 a 34 bolsas por minuto y tiene un rango de llenado de 520 a 780 milímetros para empaques de granos en presentación de libras. Para la presente propuesta de diseño de la máquina de envasado de cacahuete, se plantea utilizar el aluminio y, de ser posible, acero inoxidable de grado alimenticio como material que forme parte del sistema de dosificado y de la máquina en general, por el uso de alimento en el proceso teniendo que recurrir a este último material mencionado.

La diferencia principal que tiene el diseño propuesto al de la empacadora eco PE es el uso de tecnología electroneumática y el sistema de llenado de la tolva que no se presentará en el presente trabajo, puesto que es una acción extra el proceso de envasado, además, el rango de llenado en mililitros, no se asemeja al que será presentado en el diseño.

¹⁰⁹ Disponible en: http://intertec.com.co/productos/empacadoras_verticales/Empacadora_Vertical_eco_PE_laminados.php, fecha de consulta 21 de Noviembre del 2019.



Figura 54. Empacadora de empaçado vertical TP-G001¹¹⁰.

La máquina que se observa en la figura 54, está diseñada fundamentalmente para el envasado de granulados de tamaño reducido como azúcar, sal, pimienta, azúcar entre otros. El proceso de sellado y cortado está incluido y no es necesaria la implementación de un sistema 'extra' de dosificación, su propósito de uso está orientado a el producto de fácil flujo o desplazamiento. Esta es una envasadora que se utiliza para productos granulados de flujo libre con un peso de entre 1 a 20 gramos. Su uso común se encuentra en productos como azúcar, sal, pimienta negra, café granulado, sal y varios tipos de productos granulares semejantes. Todos los ajustes de la máquina se pueden realizar en PLC y pantalla táctil. La máquina cuenta de 5-10 canales que pueden producir 500 piezas por minuto. Se tiene la opción de pedir una máquina *stickpack* de acero 100% inoxidable.

El rango de peso que maneja es de 1-10 gramos y es ajustable, en cuanto a las dimensiones de la bolsa envasada son de 17 milímetros de ancho por 170 milímetros de longitud, ambos ajustables, además, el sistema de llenado se realiza por medio de la tecnología de dosificación volumétrica a través de 5 canales y 10 carriles a una velocidad de 250 a 500 *stickpack* por minuto, sin embargo, de primera instancia aunque parezca que la velocidad es alta, es porque el rango que se muestra está ampliado debido a la multi producción de los 5 canales con los que cuenta.

¹¹⁰ Disponible en: <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-stick-pack/la-maquina-stickpack-para-productos-de-flujo-libre-azucar-sal/>, fecha de consulta 03 de Noviembre del 2019.

No hay que dejar de lado el hecho de que se está envasando granulados pequeños que, en volumen, no se asemejan al de un cacahuete y los sobres que se envasan tienen la cualidad de ser de flujo constante.

La información que proporciona el fabricante menciona que se cuenta con 5 líneas de llenado de productos de tipo granulado de azúcar, sal, pimienta entre otros granos pequeños que a diferencia del cacahuete, será el elemento que se usará en la propuesta y en donde el sistema de control es realizado por medio de un PLC en conjunto con una interfaz humano-máquina anexa en donde se visualizará y manipulará el tipo de granulado a envasar y la cantidad volumétrica del producto.

Algunos fabricantes dan la opción de elegir el sistema de dosificación de acuerdo con las necesidades o gustos del cliente, por lo que ofrecen múltiples opciones del dosificador que pueden adaptarse al sistema de envasado (formador de bolsa y sellado), de esta manera, dependiendo de cual se implemente, la máquina operará en relación de la velocidad en que el dosificador suelte el producto.

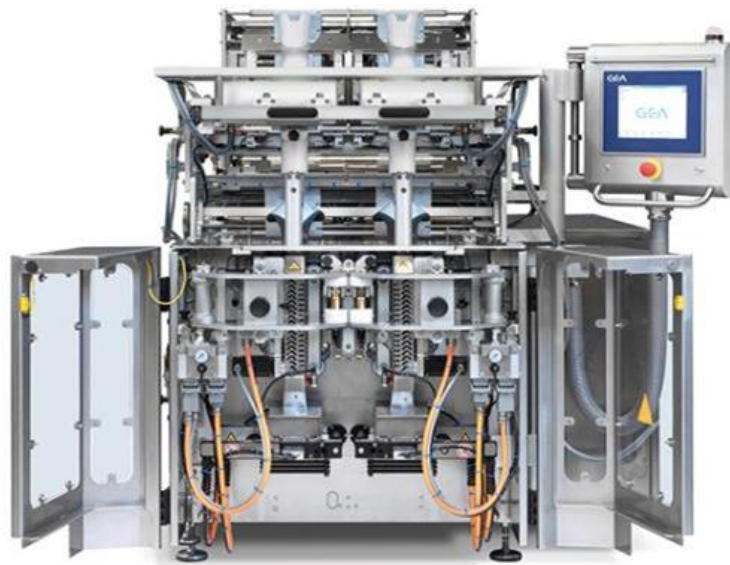


Figura 55. Envasadora con tubos paralelos Twin Tube¹¹¹.

Twin Tube es una envasadora vertical de movimiento continuo, diseñada para el envasado de alimentos de pequeño tamaño como dulces y frutos secos, entre otros. La máquina envasadora mostrada en la figura 55 está diseñada para trabajar con dos tubos de

¹¹¹ Disponible en: <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-stick-pack/la-maquina-stickpack-para-productos-de-flujo-libre-azucar-al/>, fecha de consulta 03 de Noviembre del 2019.

formación paralelos, logrando velocidades combinadas de hasta 500 bolsas por minuto (con un peso de 10 a 18 gramos cada uno). También, es posible ejecutar un rollo de película diferente para cada tubo, lo que permitiría emplear paquetes de diferente anchura. Una de las novedades que se incorporan a este sistema es el envasado *Jumbo Roll*, un nuevo accesorio que permite utilizar rollos de película de hasta 100 kilogramos en largas producciones, lo que aumenta la eficiencia de producción. Otra característica es que la máquina está diseñada para trabajar en conjunto con algún tipo de dosificador volumétrico o gravimétrico.

Esta máquina si bien ofrece una alta cantidad de producción, los rangos de peso que maneja son muy pequeñas en relación con la problemática del presente proyecto, además de que se requiere adquirir el sistema de dosificación por separado, sin mencionar que al igual que las soluciones anteriores, se requiere de suministros de aire para el funcionamiento neumático de los mecanismos de sellado y corte, no obstante, el diseño de los tubos en paralelo, se adapta al mecanismo planteado para el envase de los dos productos distintos, ya que al colocar ambos tubos formadores de esta manera, a diferencia de esta máquina que cuenta con un mecanismo de sellado y corte independiente para cada tubo, se puede implementar un solo mecanismo para sellar y cortar ambas bolsas, debido a la distancia que existe entre los tubos, utilizando un solo controlador de temperatura.

Con base en los trabajos y proyectos investigados, se concluye que del conocimiento adquirido en los antecedentes de este trabajo, que fueron desde trabajos escritos en 3 proyectos de tesis hasta máquinas de envasado que se encuentran en la industria del envasado de cacahuate y, con respecto al diseño de una máquina de envasado de cacahuate que se presentará, no se estará igualando ni tampoco se imitaran las máquinas aquí presentadas, sin embargo, se tomarán como punto de partida para encontrar las diferencias y semejanzas con respecto al diseño propuesto, para finalmente reinterpretar el uso de la tecnologías encontradas en cada antecedente descrito.

Capítulo 3. Propuesta de Automatización

Este capítulo menciona las consideraciones del sistema que se necesitan para la ejecución de las acciones de los elementos de automatización del modelo propuesto, en el cual se describen los dispositivos solicitados para el funcionamiento de la máquina, se realizará una selección y comparación de los materiales y mecanismos requeridos, efectuando los análisis necesarios para realizar el diseño de los componentes eléctricos y mecánicos empleados en la propuesta de diseño, así como la implementación mediante un software, de una secuencia de automatización encargada de controlar los dispositivos seleccionados y así satisfacer los objetivos planteados en un principio.

- Proponer el diseño electromecánico de una máquina automatizada para el envasado de diversos tipos en el proceso de fabricación de cacahuate, utilizando un sistema de servomotores, motor de corriente alterna y diversos elementos electromecánicos.
- Proponer el diseño de un sistema de control para el proceso de envasado de diversos tipos de cacahuate utilizando un controlador lógico programable (PLC) siemens, sensores y diversos elementos de automatización y control.
- Proponer el diseño de una interfaz humano-máquina (HMI) para el monitoreo y control de las variables (peso, volumen) involucrados en el envasado de los diversos tipos de cacahuate, utilizando el software TIA PORTAL.

En el capítulo actual se presentan mediante imágenes, los diseños creados por el software SolidWorks exponiendo un diseño de las dimensiones necesarias de la propuesta presentada tanto de los elementos de control y automatización, como los mecanismos que se implementan, encargados de manipular las variables del sistema. En conjunto se mostrarán los diseños de la distribución de dichos elementos, además en este capítulo se desarrollarán los cálculos necesarios de los elementos eléctricos, obteniendo los parámetros requeridos para su selección los cuales serán acoplados a dichos mecanismos, mostrando los diagramas de fuerza y control de las conexiones del sistema y finalmente mostrando las configuraciones necesarias en el software para la ejecución de las instrucciones generadas en diagrama de escalera con la cual se sincronizaran los accionamientos de los subsistemas.

3.1 Mecanismos y hardware del sistema

3.1.1 Diseño de la tolva

La tolva será aquella en donde se almacene el cacahuate, como se mencionó es necesario que posea un gran espacio de almacenamiento con el fin de reducir los paros continuos e igualmente debe tener un diseño que posibilite almacenar ambos productos, esto con base a los parámetros de densidad aparente y ángulo de talud mencionados en el capítulo 1.

3.1.1.1 Selección de material de la tolva

El material de fabricación debe seleccionarse conforme a la NOM-120-SSA1-1994 Prácticas de higiene y sanidad para bienes y servicios donde estipula en el artículo 9.2.1 “Todo el equipo y los utensilios empleados en las áreas de manipulación de productos y que puedan entrar en contacto con ellos, deben ser de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores, y sea inobservante y resistente a la corrosión, y capaz de resistir repetidas operaciones de limpieza y desinfección”¹¹², por lo que se propone que esta se fabrique a partir de láminas de acero AISI 316 calibre 12. Seleccionando un acabado y mencionando sus características la cuales se muestran en la tabla 1.

Especificaciones de lámina de acero AISI 316					
Calibre	Grosor		Peso por metros cuadrados (libras)	Tipo	Acabado
	milímetros	pulgadas			
12	2.67	0.105	21.62	2B	Satinado

Tabla 1. Especificaciones de lámina de acero AISI 316 (elaboración propia).

Las dimensiones que tendrá deben ser considerables para almacenar una cantidad que permita trabajar a la máquina constantemente evitando realizar paros continuos para ingresar producto nuevamente a la tolva. En la figura 56 se muestran las medidas propuestas con el fin de determinar la capacidad de almacenamiento total y con ello aproximar el rendimiento de producción.

¹¹² Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4729065&fecha=15/08/1994&print=true, fecha de consulta 10 de Marzo de 2020.

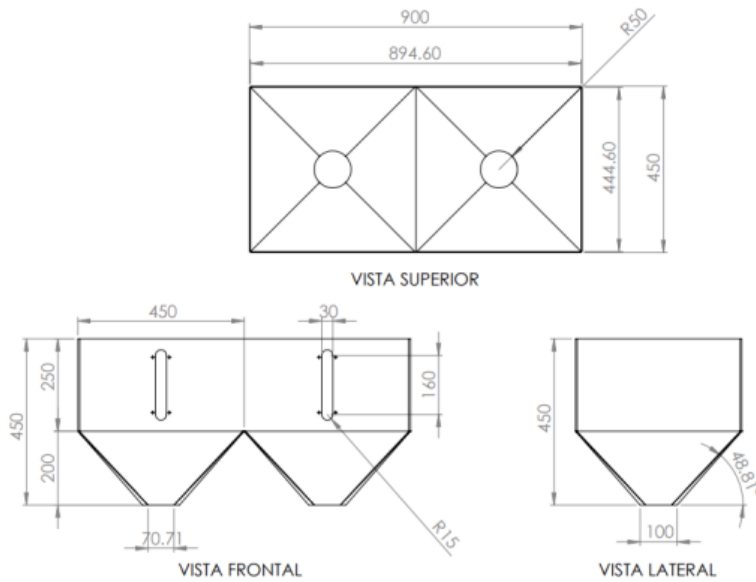


Figura 56. Dimensiones de la tolva en milímetros (elaboración propia).

Con estas dimensiones se podrá definir la cantidad de producto que es capaz de almacenar la tolva, además de que se observa que el ángulo de talud con el que cuenta permitirá que el flujo del producto en la tolva se deslice sin estancamientos al ser de 48.81 grados angulares, que es superior por los 30 grados mínimos que debe contar para que el flujo sea masico.

3.1.1.2 Capacidad de almacenamiento

Para calcular el volumen de la tolva en donde se almacenará el producto, se tomarán las medidas internas, primero se determina el volumen de los conos, se toman los valores que se muestran en la imagen anterior, así se calcula mediante la fórmula de tronco de pirámide, la cual, se muestra en la ecuación 1:

$$V = \frac{(A_M + A_m + \sqrt{A_M + A_m}) * h}{3} \text{ ----- (1)}$$

Dónde A_M es el área de la base mayor del cono de la tolva A_m es el área de la base menor del cono y h la altura del cono. Sustituyendo los valores de la figura 56 en la ecuación 1 se tiene que:

$$V = \frac{(44.46 \text{ cm}^2 + 7.07 \text{ cm}^2 + \sqrt{44.46 \text{ cm}^2 + 7.07 \text{ cm}^2}) * 20 \text{ cm}^2}{3}$$

$$V = 13.811.30 \text{ cm}^3$$

Así para ambos conos, se multiplica el resultado anterior por dos, dando un volumen de 27622.60 centímetros cúbicos.

Para el volumen del cajón tomando las medidas internas de la figura 56 dando como resultado un volumen de 99434.79 centímetros cúbicos.

Por lo tanto, con la suma de los conos y el cajón, el volumen máximo es de:

$$V = 27622.60 \text{ cm}^3 + 99434.79 \text{ cm}^3$$

$$V = 127057.39 \text{ cm}^3$$

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo 1, la FAO (*Food and Agriculture Organization*) señala que la densidad aparente promedio del cacahuate sin cáscara es de 620 kilogramos sobre metro cubico, haciendo las conversiones necesarias, se define que la cantidad de producto que es capaz de almacenar la tolva la determina la ecuación 2:

$$M = \rho * V \text{ ----- (2)}$$

Donde ρ es la densidad aparente del cacahuate sin cascara y V el volumen de almacenamiento de la tolva, sustituyendo estos valores en la ecuación 2 se tiene que el peso máximo de almacenamiento es:

$$M = 0.00062 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} * 127057.39 \text{ cm}^3$$

$$M = 78.77 \text{ kg}$$

De esta forma se observa que el peso máximo que almacenará la tolva es de aproximadamente 80 kilogramos, lo que permite con relación a una porción de 200 gramos, producir con una tasa de 60 unidades por minuto, y generar hasta 400 envases entre ambas líneas antes de ingresar producto nuevamente a la tolva. Además de contar con dos cortes

en el frente los cuales servirán como mirillas de nivel, estas serán cubiertas por placas de acrílico, brindando la capacidad de observar el contenido de producto dentro de la tolva.

3.1.1.3 Selección de material de estructura

La tolva será soportada por una estructura formada de perfil cuadrado de 3 por 3 centímetros de modo que permita suspender la tolva para que el producto pueda caer por gravedad a los discos dosificadores. el perfil cuadrado seleccionado para la estructura es el mostrado en la figura 57.



Figura 57. Perfil cuadrado 3x3 centímetros.¹¹³

Las características de este perfil cuadrado se muestran en la tabla 2:

Especificaciones del perfil cuadrado			
Medidas (centímetros)	Calibre	Longitud por tramo (metros)	Material
3 x 3	14	6	Acero estructural de bajo carbón

Tabla 2. Especificaciones técnicas del perfil cuadrado para la estructura (elaboración propia).

Los tramos se cortan con las medidas que sujeten por la parte de arriba y abajo en los cuatro lados de la tolva, esto, además de soportar el peso de la tolva, también evitará

¹¹³ Disponible en: <https://ventdepot.mx/products/ptrtub-perfil-de-acero-al-carbon-ptr-mxtrt-001-057>, fecha de consulta 11 de Marzo de 2020.

deformaciones en las paredes de la tolva, la distancia a la que se coloca dependerá de los elementos que se coloquen por debajo de ella.

En la figura 58, se muestra la estructura propuesta la cual se atornillará a la pieza que contendrá el volumen de la tolva, de modo que el flujo del producto sea trasladado por gravedad sin estancamientos hasta el dosificador.



Figura 58. Estructura de acero (elaboración propia).

3.1.1.4 Tubos de alimentación

Para trasladar el producto a los discos de dosificación se emplean dos tubos rectos, uno para cada sección de la tolva, en el final de cada tubo se colocan anillos con cerdas alrededor del tubo para retirar el excedente de material, el producto se deposita cuando el vaso telescópico se encuentra posicionado concéntricamente a cada tubo, la distancia de separación debe ser mínima, con el fin de ingresar la cantidad correcta en el volumen del recipiente, en la figura 59 se ejemplifica el modo en el que ingresa el producto al vaso.

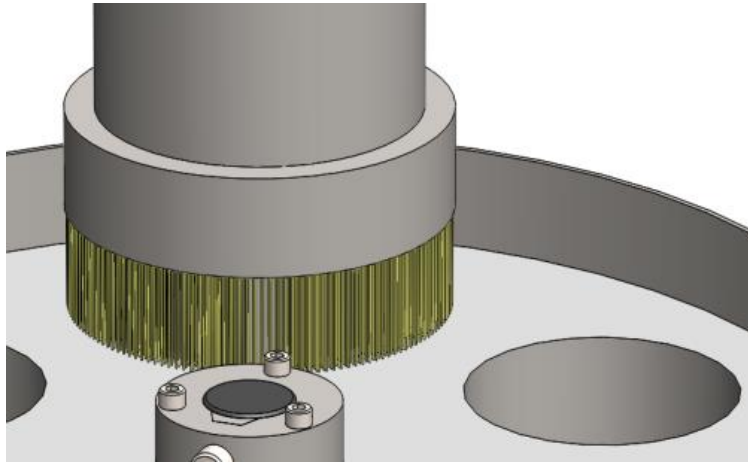


Figura 59. Modo de dosificación por gravedad (elaboración propia).

El sistema en conjunto se muestra en el anexo 1, donde se mencionan todos los elementos y componentes necesarios para la construcción de esta pieza encargada de almacenar y trasladar el producto, y con ello garantizar la siguiente etapa de proceso que es la dosificación del cacahuate.

3.1.2 Dosificador

Este será el encargado de generar las porciones para cada envase, deberá contar con 6 vasos telescópicos los cuales deben ser capaces de modificar el tamaño de las dosis de los envases, la cantidad a envasar para cada producto dependerá de su densidad por lo que se tendrán diferentes volúmenes con base en el peso seleccionado, elevando o descendiendo la parte inferior del dosificador.

Si bien existen modelos independientes que pueden emplearse, la idea planteada contempla mover ambos discos dosificadores usando un solo actuador, por lo que adquirir un modelo en venta requiere de realizar modificaciones, es por ello que se propone que a partir de láminas de acero AISI 316 y siguiendo las condiciones de la norma ya antes mencionada, se realice un diseño particular de los dosificadores que se encuentra ilustrado en la figura 60, en esta se muestran las dimensiones propuestas de la parte del ajuste volumétrico del dosificador, está compuesta por múltiples piezas que facilitan la variación del volumen, con el fin de crear diferentes formatos obteniendo un mayor número de presentaciones.

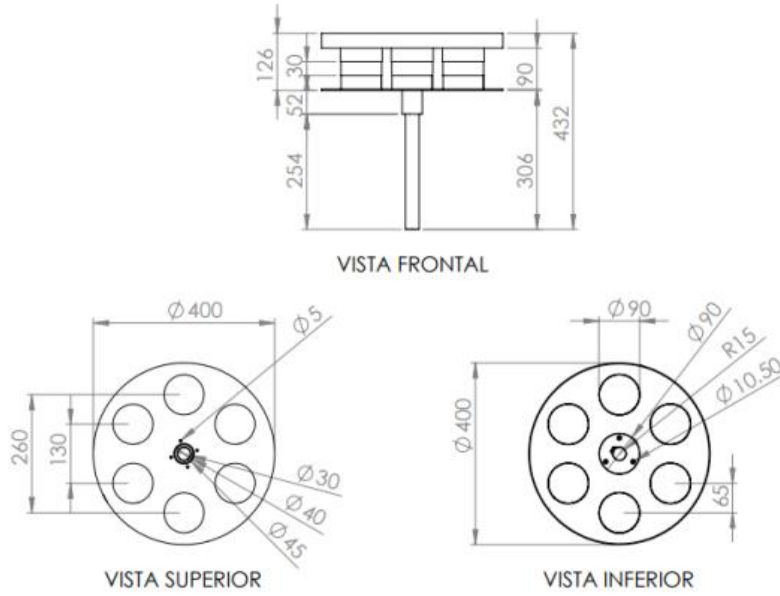


Figura 60. Dimensiones del mecanismo dosificador de vasos telesc3picos en mil3metros (elaboraci3n propia).

Con estas medidas se define los limites inferior y superior del volumen a modificar, para establecer la cantidad y m3xima y m3nima de producto dependiendo del estilo que se est3 trabajando en ese momento, por lo que los rangos de envasado para cada tipo de preparaci3n ser3n distintos en relaci3n a su densidad aparente, para este dise1o propuesto con base a las medidas mostradas, se determina un volumen m3ximo de 572 cent3metros c3bicos y un m3nimo de 191 cent3metros c3bicos, los c3lculos para conocer el peso de cada producto se describir3n m3s adelante en la ingenier3a de software. El dise1o de este prototipo se muestra en el anexo 2 mencionando los componentes requeridos para su construcci3n.

3.1.2.1 Mecanismo de rotaci3n

Para lo planeado en la propuesta, se necesitar3n dos dosificadores con las mismas caracter3sticas, pues se implementar3 un dise1o mec3nico encargado de impulsar el movimiento giratorio en ambos dosificadores mediante un sistema de transmisi3n de poleas por correa, el cual ser3 acoplado a un motor de corriente alterna y de esta forma se usar3 un solo actuador, obteniendo una velocidad igual en la producci3n de ambos productos. Este mecanismo consta de un sistema de transmisi3n de 3 poleas, las cuales cuentan con una relaci3n 1:1 igualando la velocidad angular del motor en las poleas, su funci3n es la

transmisión de la potencia al sistema dosificador. La figura 61 ilustra las dimensiones del sistema de transmisión por polea propuesto.

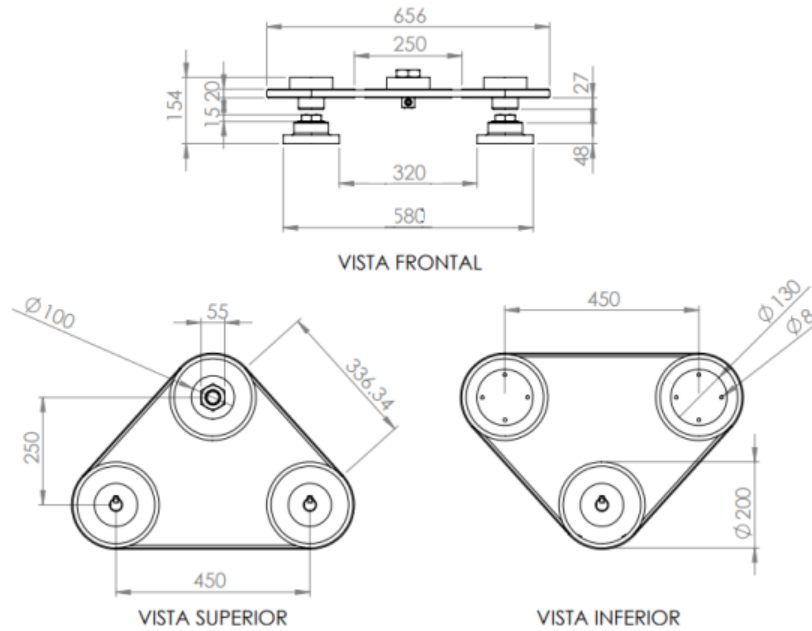


Figura 61. Dimensiones del sistema de rotación del dosificador en milímetros (elaboración propia).

El motor de corriente alterna que será el encargado de mover ambos discos dosificadores, debe de tener una velocidad que contempla que la producción sea de 60 unidades por minuto por una sola línea (120 por ambas líneas), si por una vuelta el dosificador descarga 6 porciones para las 60 unidades se requiere de un motor con velocidad de 10 revoluciones por minuto. Para calcular la potencia del motor se emplea la ecuación 3¹¹⁴.

$$P = \frac{n * T}{60/2\pi *} \text{-----} \quad (3)$$

Donde n es la velocidad angular del motor y T es el torque que se emplea refiere al peso del mecanismo dosificador, que con base a los resultados del software se tiene la masa es de 5.93 kilogramos, debido a que son 2 dos discos dosificadores la masa será el doble, además de sumar la masa del producto en ambos discos agregando en una porción máxima de 200 gramos por vaso, se tiene un total de 1.2 kilogramos, por lo tanto, sustituyendo en la ecuación 3 se tiene que:

¹¹⁴ Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn63.html>, fecha de consulta 6 de Abril del 2020.

$$P = \frac{(10 \text{ RPM})(139.89 \text{ Nm})}{9.54}$$

$$P = 146.58 \text{ W}$$

Dentro del mercado se encuentra que la marca *ZD Motors* ofrece motores monofásicos con reducción incluida, donde el motor que se elige es el modelo 6IK180GU-AF con una potencia de 180 watts que es la más cercana a la del valor calculado, este motor se muestra en la figura 62 y donde la tabla 3 muestra las especificaciones técnicas de este motor.



Figura 62. Motorreductor monofásico ZD Motors 6IK180GU-AF¹¹⁵.

Especificaciones del motorreductor					
Tensión de alimentación en volts de corriente alterna	Corriente de consumo en amperes	Velocidad nominal en revoluciones por minuto	Relación de transmisión	Potencia en watts	Par máximo en newtonmetro
110	3.2	10	125:1	180	20

Tabla 3. Especificaciones técnicas motor 6IK180GU-AF (elaboración propia).

En el eje de cada dosificador se ensambla una polea, al igual que en el eje del motor, este motor será incorporado al mecanismo de transmisión de poleas por correa, en el anexo 3 se muestra el diseño creado por software del mecanismo propuesto con el motor

¹¹⁵ Disponible en: <http://docs.zdmotors.com/Induction-Motor-180W.pdf>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

seleccionado, ejemplificando la forma de operar del sistema de rotación para los dosificadores, de modo que con la velocidad del motor sea posible alcanzar la producción de 60 unidades, por lo que en la programación cuando el botón de arranque sea activado este motor también dará paso a las siguientes subrutinas de los demás subsistemas presentes.

3.1.2.2 Mecanismo de ajuste volumétrico

Para realizar este movimiento se ocupará un mecanismo de tornillo sinfín, este mecanismo es utilizado en máquinas de control numérico computarizado (CNC) donde mediante un rodamiento de bolas y un husillo, es posible realizar un movimiento vertical deslizando el tornillo sobre el rodamiento o viceversa, dependiendo de cuál sea el elemento que esté fijo, las dimensiones de este sistema se muestran en la figura 63.

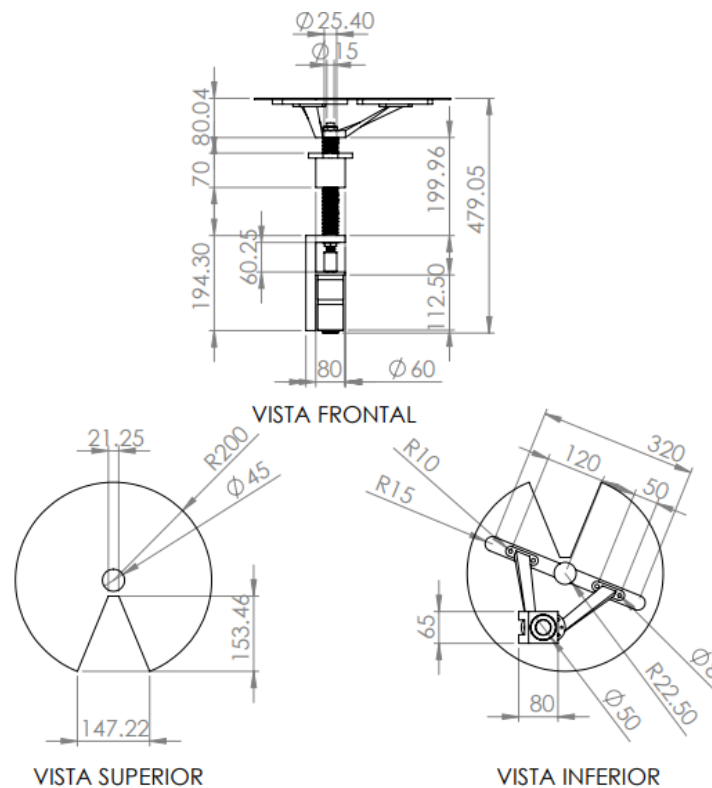


Figura 63. Dimensiones del sistema de ajuste volumétrico en milímetros (elaboración propia).

El eje de desplazamiento se coloca ligeramente desviado, puesto que el sistema de rotación queda por debajo y de colocarlo en el centro interfiere con la correa de transmisión. El motor acoplado a este mecanismo se debe ejercer la suficiente fuerza para vencer el peso que ejerce la masa que se pretende levantar, este se colocará sobre un soporte que se deslizará verticalmente manteniendo una postura paralela al husillo, para desplazar el disco dosificador, la masa de las piezas del dosificador la obtenemos con una de las herramientas de SolidWorks, donde una vez conociendo este parámetro podremos realizar los cálculos necesarios para seleccionar un motor que se adapte a esta tarea.



Figura 64. Cálculo de masa por software tomando la densidad del acero AISI 316 de 8.0 g/cm³ (elaboración propia).

Como se observa en la figura 64, solo se considera la masa de los elementos que son móviles, ya que la parte superior es fija para que las cerdas al final del tubo de alimentación puedan retirar el material excedente, además de que debido a que el ajuste se realiza antes de poner en marcha el funcionamiento de la máquina, no se contempla la masa del producto dentro de los vasos, por lo tanto, con los datos que se muestran en la figura anterior, la ecuación 4 determina la fuerza necesaria para elevar la parte inferior del dosificador :

$$F = m * g \text{ ----- (4)}$$

Donde m es la masa de los elementos a elevar, y g la fuerza de gravedad, de modo que sustituyendo los valores obtenidos por el software se tiene que la fuerza para elevar la parte inferior es de:

$$F = 2.51 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s} = 24.62 \text{ N}$$

A este valor se le agrega una holgura del 10% para evitar sobrecalentamiento por fricción entre elementos o por alguna otra perturbación que exista, de este modo se tiene una fuerza total de 27.08 newtons.

La altura determinará el trabajo necesario, la distancia que va a recorrer será entre la distancia que tiene que elevarse, para esto se utilizará un husillo con una pulgada de diámetro y siendo la distancia de recorrido de 6 centímetros se tiene que una distancia de 15.24 centímetros

Por lo tanto, la ecuación 5 determina el torque necesario del motor a utilizar

$$T = F * d \text{ ----- (5)}$$

Donde F es la fuerza a ejercer y d la distancia de recorrido. Sustituyendo los valores de fuerza y distancia obtenidos en la ecuación 5 se tiene que:

$$T = 27.08 \text{ N} * 0.1524 \text{ m}$$

$$T = 4.12 \text{ N.m}$$

Con los resultados obtenidos, se contemplan los requerimientos indispensables, por lo cual se elige un motorreductor que muestra la figura 65 de la marca *ZD Motors* modelo PG52MZY52 de 24 volts de corriente directa disponible en la misma página del fabricante, donde la tabla 4 muestra las especificaciones de este motorreductor.

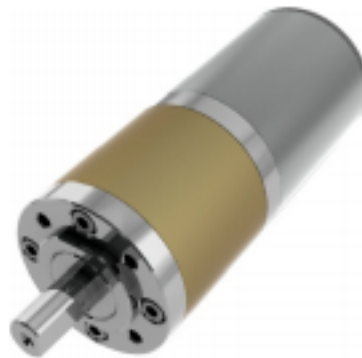


Figura 65. Motorreductor *ZD Motors* PG52MZY52¹¹⁶.

¹¹⁶ Disponible en: <http://docs.zdmotors.com/DC-Planetary-Gearmotor-PG52MZY52.pdf>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

Especificaciones técnicas del motorreductor del dosificador volumétrico					
Tensión de alimentación en volts de corriente directa	Corriente máxima de consumo (amperes)	Velocidad con carga máxima en revoluciones por minuto	Relación de transmisión	Potencia en watts	Par máximo (kilogramo)
24	2	53	51.1	32	45

Tabla 4. Especificaciones técnicas del motor Pololu 131: Metal Gearmotor 37Dx57L (elaboración propia).

Como se observa en las especificaciones del fabricante, se satisfacen los parámetros calculados y necesarios para la propuesta de diseño. Para esta propuesta será indispensable contar con dos motores con las mismas características, ya que cada dosificador debe ser ajustado independientemente, ambos dosificadores cuentan con el mismo mecanismo para adecuar la dosis por lo que el cálculo es aplicable para la selección de los dos motores, en el anexo 4 se muestra el diseño propuesto del sistema encargado de ajustar el volumen. La figura 66, muestra el efecto del movimiento realizado, donde se busca modificar el volumen de los recipientes.

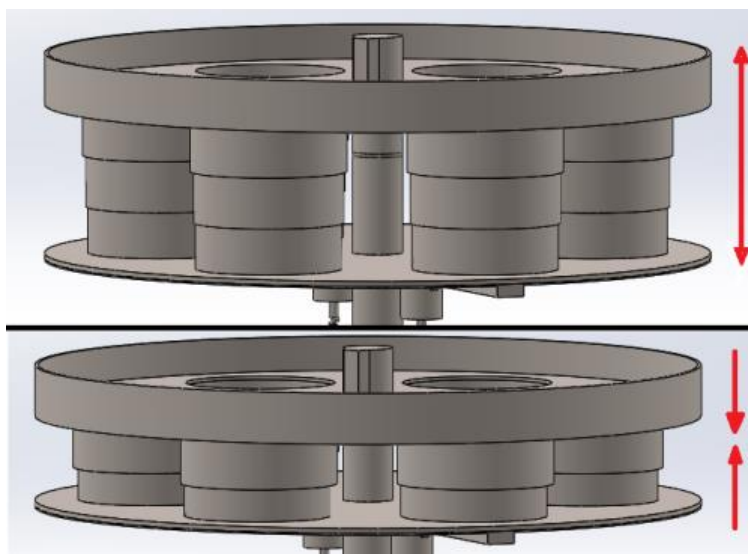


Figura 66. Movimiento de ajuste del dosificador volumétrico (elaboración propia).

3.1.3 Elaboración del envase

3.1.3.1 Diseño del tubo formador

Para el tubo formador como ya se mencionó anteriormente se desea que en él puedan realizarse envases con un ancho de 7.5 centímetros y con un largo máximo de 30 centímetros, por lo que el tubo formador debe tener un diámetro que genere este ancho, además del largo suficiente para generar un envase con dicha longitud.

El diseño consta de un cono superior con un corte para colocar una canaleta que permita transportar el producto al envase al ser descargado del dosificador, por este cono se desplazará la película de *film* adquiriendo la forma cilíndrica del envase, unas cintas alrededor del cono se encargarán de estirar y eliminar arrugas, al final un corte en diagonal en la última cinta dejará uno de los extremos de encima del otro para luego ser sellados en esta parte.

En la figura 67, se muestran las medidas definidas del tubo formador de acuerdo a las especificaciones del envase.

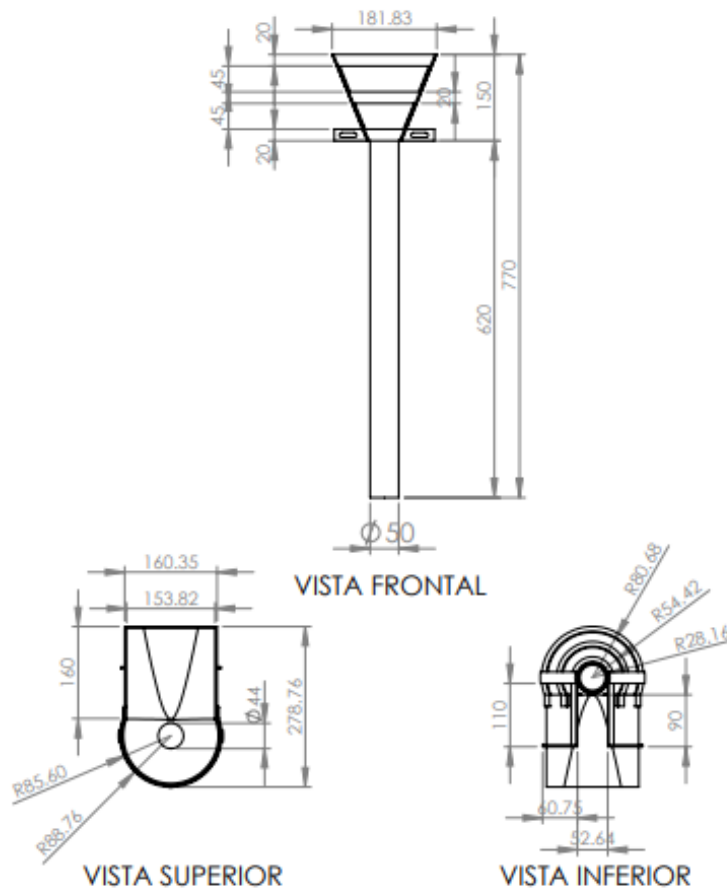


Figura 67. Dimensiones del tubo formador propuesto en milímetros (elaboración propia).

El envase se formará a partir de un rollo de *film* de polipropileno, el cual es desembobinado de un eje, la película de *film* pasará por un par de rodillos los cuales se encargarán de estirar la tira plástica eliminando arrugas u otro desperfecto, con el fin que ésta se deslice sin dificultad sobre el tubo formador.

3.1.3.2 Desembobinador

Para el sistema encargado de trasladar el material de envasado al tubo formador, el eje donde descansa el rollo de polipropileno debe adecuarse a las medidas de los rollos de *film* disponible, para esto se observa que uno de los proveedores de este material, ofrece rollos de polipropileno con un largo de 6 pulgadas que se adecua al perímetro del tubo formador

y un largo de hasta 3000 metros con un peso de 31 libras¹¹⁷. El núcleo del rollo está disponible desde 1 a 3 pulgadas proponiendo un eje con 35 milímetros de diámetro, en la figura 68 se muestran las medidas del des embobinador que se integrará uno por cada línea ya que la velocidad y tamaño de cada bolsa difiere entre las líneas.

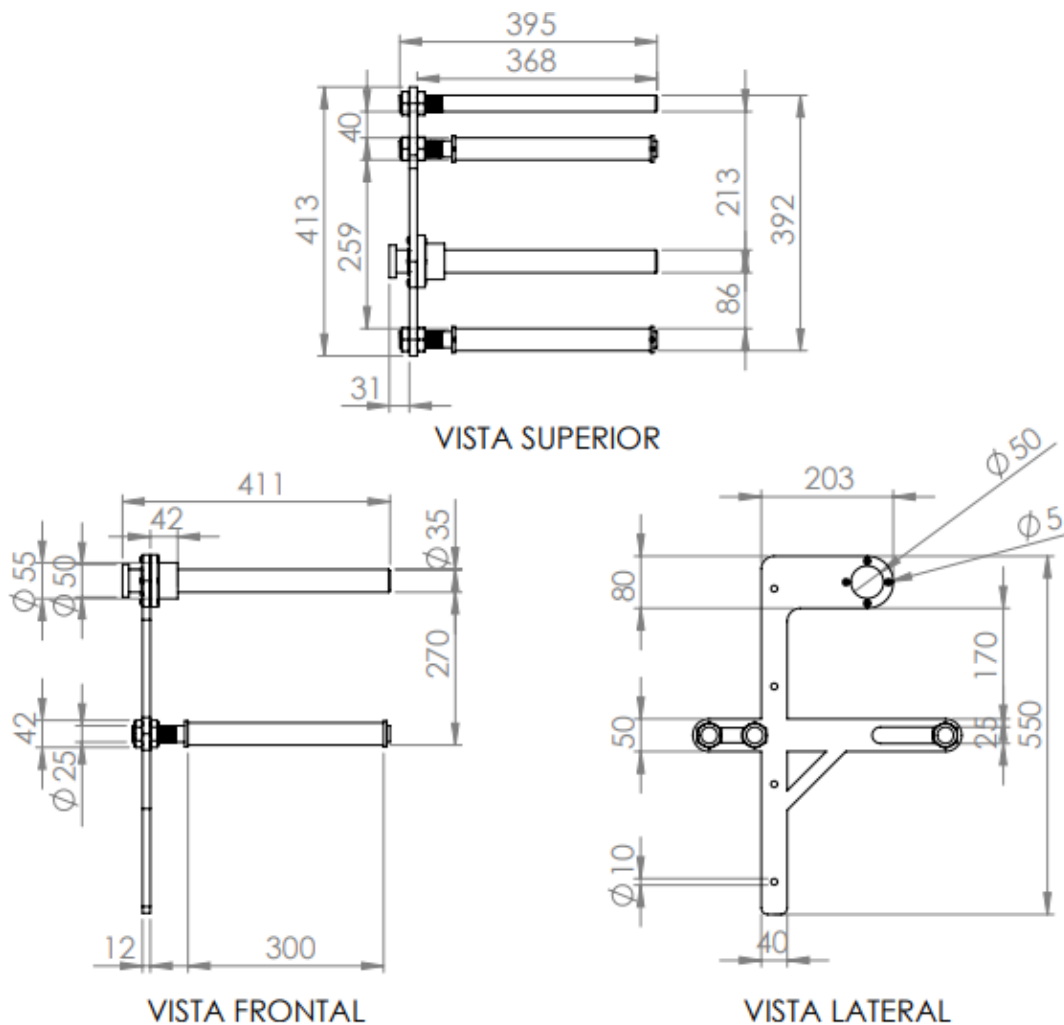


Figura 68. Dimensiones del sistema des embobinador en milímetros (elaboración propia).

Ésta se colocará a los laterales sobre la estructura que soporta la tolva, la película de *film* ingresará al tubo formador con el ángulo que tiene el cono superior, sobre el eje de cada uno se colocan bujes que fijan el rollo al centro de modo que este no se deslice lateralmente

¹¹⁷ Disponible en: https://es.uline.mx/BL_2102/2-Mil-Poly-Tubing, fecha de consulta 10 de Septiembre de 2020.

sobre el eje ubican, en el anexo 5 se muestran estos elementos, así como el resto de los elementos que conforman dicho ensamblaje.

3.1.3.3 Diseño del sellador vertical

El sellador vertical es el elemento encargado de realizar una soldadura a lo largo del *film* previamente formado, obteniendo un tubo de *film* unidos por los extremos, creando la forma circular del envase. Para el accionamiento de este sistema se hace uso del mecanismo de biela manivela-corredera, este sistema permitirá que a través de un motor se obtenga un desplazamiento transversal, además de que con un solo actuador sea posible accionar el sellador para ambas líneas.

Es recomendable que la longitud de la biela sea al menos 4 veces el radio de giro de la manivela a la que está acoplada, ya que cuanto mayor sea la manivela menor será la fuerza que aparece en su empuñadura y consecuentemente en el pie de la biela ¹¹⁸. La figura 69 muestran las medidas del mecanismo propuesto para el sistema de sellado, considerando que su ubicación se encuentra delante de la carcasa que cubre todos los elementos y atrás del tubo formador.

¹¹⁸ Disponible en: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_biela-manivela.htm, fecha de consulta 25 de marzo de 2020.

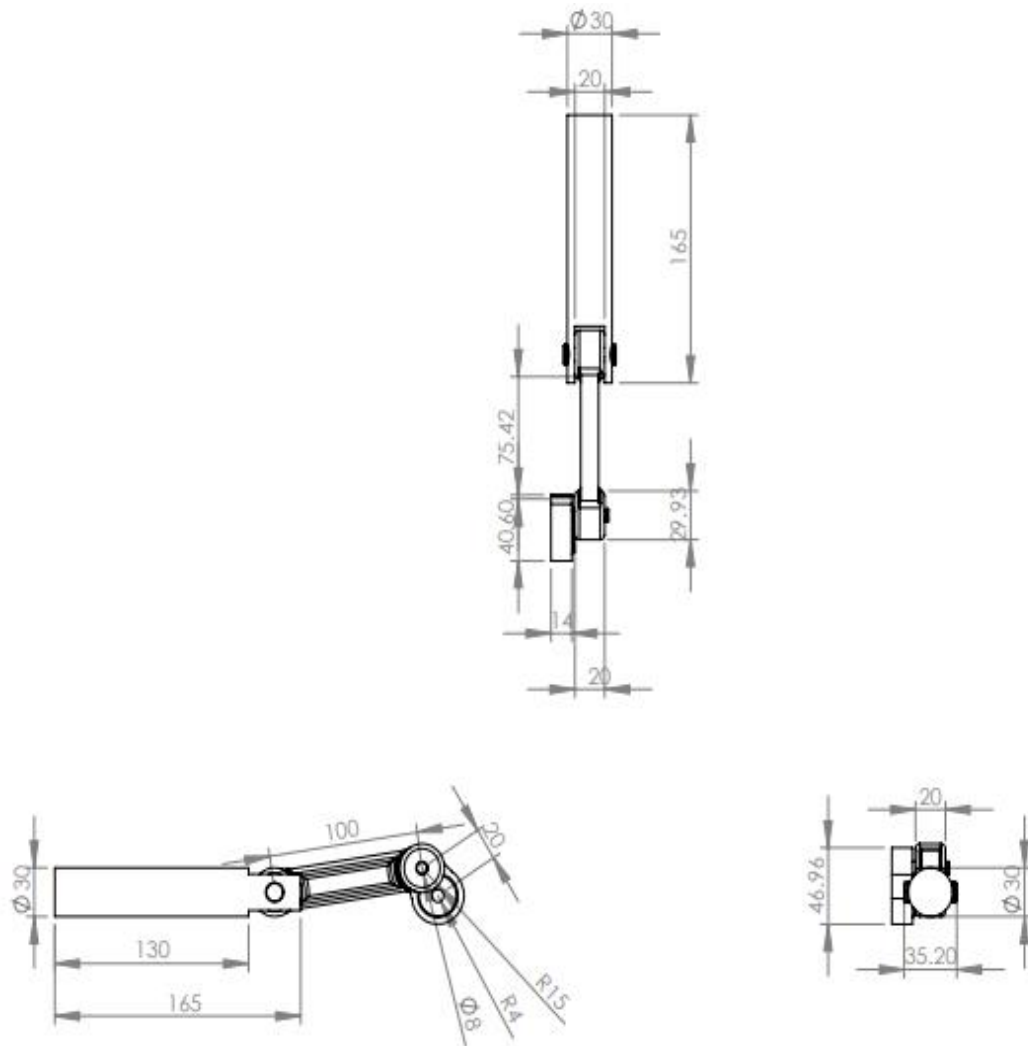


Figura 69. Dimensiones del mecanismo de sellado biela manivela corredera propuesto en milímetros (elaboración propia).

Este mecanismo será impulsado por un actuador de tipo eléctrico por lo que para este sistema será un motor de corriente continua que se selecciona con la velocidad y la presión necesaria en el momento de sellado. Para seleccionar el motor correspondiente a esta acción se elige un motorreductor con una velocidad que se determina a continuación, de acuerdo con la velocidad del motor, cada porción es descargada en un segundo, el sellador tiene una pausa de 0.20 segundos para fundir el *film*, por lo que los 0.8 segundos restantes el mecanismo de biela manivela debe dar un ciclo en ese tiempo, por lo cual, la ecuación 6 determina la velocidad angular del motor:

$$V = \frac{d}{t} \text{ ----- (6)}$$

Donde d es la distancia de recorrido y t es el tiempo de ejecución de este movimiento. Por lo tanto, se tiene una velocidad de:

$$V = \frac{2\pi \text{ rad}}{0.80 \text{ s}}$$

$$V = 7.85 \text{ rad/s} = 74.96 \text{ RPM}$$

En el mercado se oferta el motor DM-82SW de la marca *Bringsmart* que cuenta con una velocidad de 77 revoluciones por minuto que es adecuada en relación con lo obtenido, la figura 70 muestra este motorreductor.



Figura 70. Motorreductor 24V DC Bringsmart DM-82SW¹¹⁹.

Las especificaciones de este motor se muestran en la tabla 5.

Datos técnicos del motorreductor de sellado vertical					
Potencia de salida en watts	Tensión de alimentación en volts de corriente directa	Torsión con carga (kilogramo / centímetro)	Velocidad en revoluciones por minuto	Relación de transmisión	Corriente de consumo en amperes
17.7	24	25.5	77	92:1	0.7

Tabla 5. Datos técnicos del motor Bringsmart DM.82SW (elaboración propia).

¹¹⁹ Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/dm-82sw-4468-worm-gear-speed-reducer-motor-60815770162.html>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

Para deslizar ambos selladores, se ensambla un vástago al mecanismo anterior, el cual pasa dentro de un rodamiento lineal forzando un movimiento horizontal, se une al vástago de la corredera una pieza donde sea posible montar ambos selladores, de la misma manera esta pieza cuenta con dos rodamientos lineales por los cuales pasan dos tubos que sirven para evitar que el vástago cargue completamente el peso de la pieza, posteriormente los selladores son montados sobre un sujetador que se ensambla en el acoplador.

En el anexo 6 se muestra el ensamble de las piezas antes mencionadas, mostrando el prototipo de este mecanismo.

El sellador consta de una pieza con una longitud que permita sellar un máximo de 30 centímetros sobre la cual se coloca una resistencia eléctrica plana como la que muestra la figura 71 que será la encargada de generar el calor necesario para fusionar la película de *film* empleando la misma técnica para el elemento encargado de fusionar el *film* utilizado en el anterior trabajo.

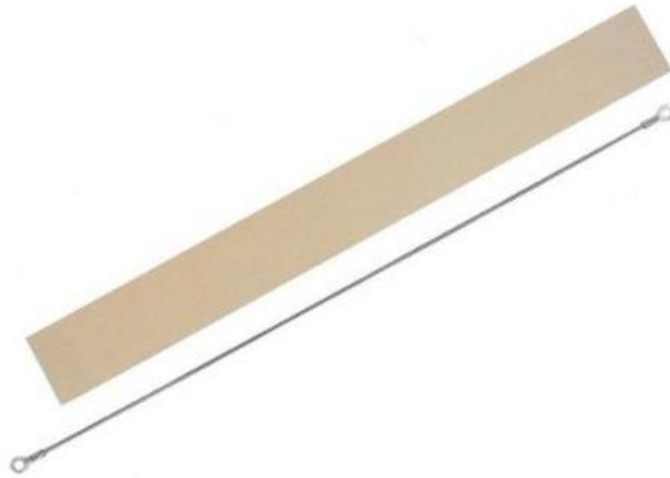


Figura 71. Resistencia térmica para teflón 30 cm¹²⁰.

Estos elementos en conjunto serán conectados al controlador encargado de enviar las señales requeridas para el control de los sistemas, tanto para la velocidad del sellador como

¹²⁰ Disponible en: <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-552306440-kit-resistencia-y-teflon-de-repuesto-para-selladora-30-cm-pl- JM>, fecha de consulta 25 de Marzo del 2020.

la temperatura para ambas resistencias, con las especificaciones de cada componente se diseñará una acción de control que permita manipular estas variables.

3.1.3.4 Diseño del sistema de arrastre

El sistema de arrastre será el encargado de definir el tamaño de la bolsa, para el deslizamiento del material de envase, se necesita que los elementos que están en contacto con el *film* están presionados a la pared del tubo formador, además de que las fuerzas de fricción entre las correas transportadoras y el material deben ser siempre mayores que las existentes entre el material y el tubo de llenado. En contraste con ese punto, esa misma superficie debe moverse libremente sobre el formador sin generar cargas de fricción.

Este sistema consta de dos correas de arrastre por cada tubo colocadas tangencialmente en cada lado, la separación entre las correas la determina el diámetro del tubo formador, ambas correas se deslizan sobre el tubo a través de un sistema de poleas dentadas, como lo muestra la figura 72.

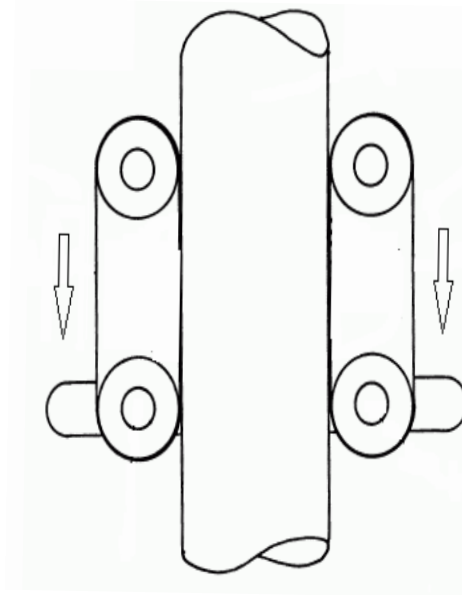


Figura 72. Modo de deslizamiento del material de envasado (elaboración propia).

La separación entre las dos ruedas determina el tamaño de la correa y la longitud de contacto que existe entre las correas y el tubo de arrastre, el parámetro que define la longitud del envase es el perímetro que se forma con el radio del centro de la rueda al

extremo de la correa, por los primeros dos aspectos no influyen en la determinación de la longitud del envase, por lo cual se elige una correa de 56 dientes, 585 milímetros de longitud y grosor de 2.5 centímetros que se muestra en la figura 73.

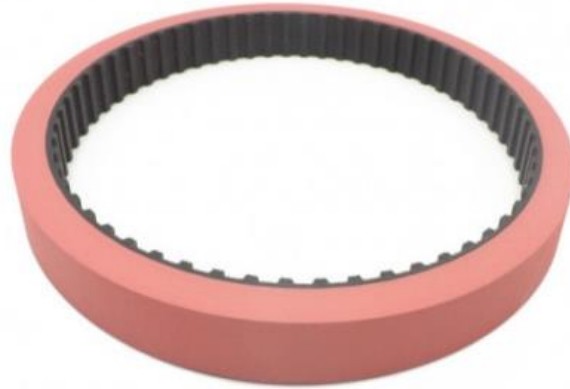


Figura 73. Correa de arrastre¹²¹

Con esta correa se establece las dimensiones de las poleas que para este caso serán dentadas la cual establece el radio para el perímetro y la longitud de contacto entre la correa y el tubo formador, para lo cual se eligen dos poleas dentadas cubiertas para la parte inferior sin rodamiento ya que en estas es donde se colocará el eje del motor, y dos poleas dentadas con rodamientos para la parte superior. Los elementos en cuestión desplazarán el material de envasado sobre el tubo formador; la figura 74, muestra las distancias de posicionamiento de ambas correas en el tubo.

¹²¹ Disponible en: <https://www.embalajesterra.com/envasadoras/2019-correa-de-arrastre.html>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

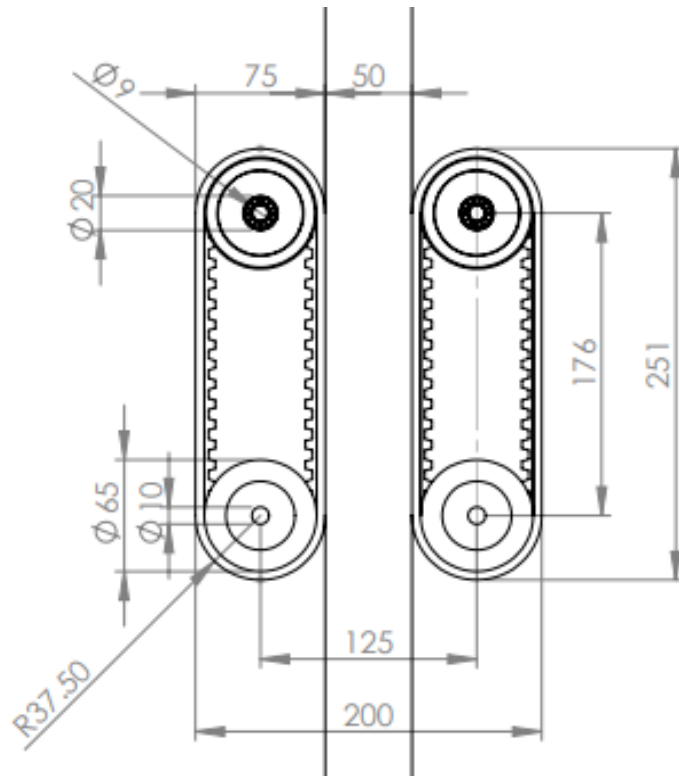


Figura 74.. Dimensiones y ubicación de los elementos del sistema de arrastre (elaboración propia).

El modo de establecer la longitud de los envases para cada presentación será un tren de engranajes que controla un motor. Este tren consta de dos engranajes con la misma relación de transmisión debido a que en ambas correas se debe tener la misma velocidad de arrastre, sobre estos engranes se colocan los ejes de las ruedas dentadas inferiores, uno de los engranes se montará sobre el eje del motor que le dará un sentido de giro, y el otro engrane girará contrario al primero; la figura 75, ilustra la explicación anterior mostrando la forma en que es direccionado el arrastre del envase en el tubo.

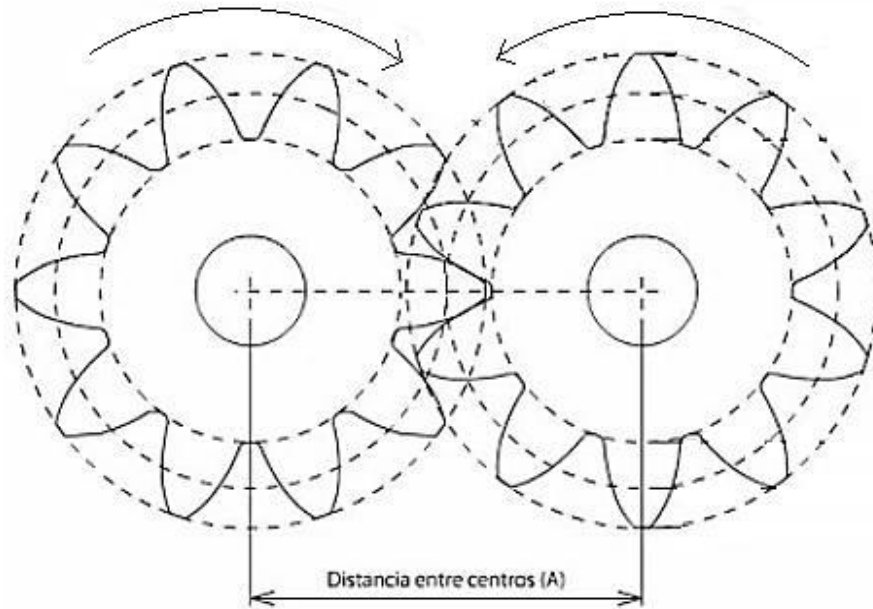


Figura 75. Tren de engranes con relación de transmisión 1:1 (elaboración propia).

La medida del engranaje es aproximadamente la separación entre los centros de las dos correas dentadas, esto quiere decir que es de 65.2 milímetros, pero se elige ligeramente más grande para que los dientes del engrane puedan hacer contacto con el otro, de esta forma se seleccionan dos engranajes rectos donde uno se fijará al motor con un cople y el otro sobre un rodamiento.

La figura 76, muestra las dimensiones de la ubicación de los engranes ensamblados, así como de los elementos encargados de ubicar las correas tangencialmente al tubo formador y con ello deslizar el rollo del *film*.

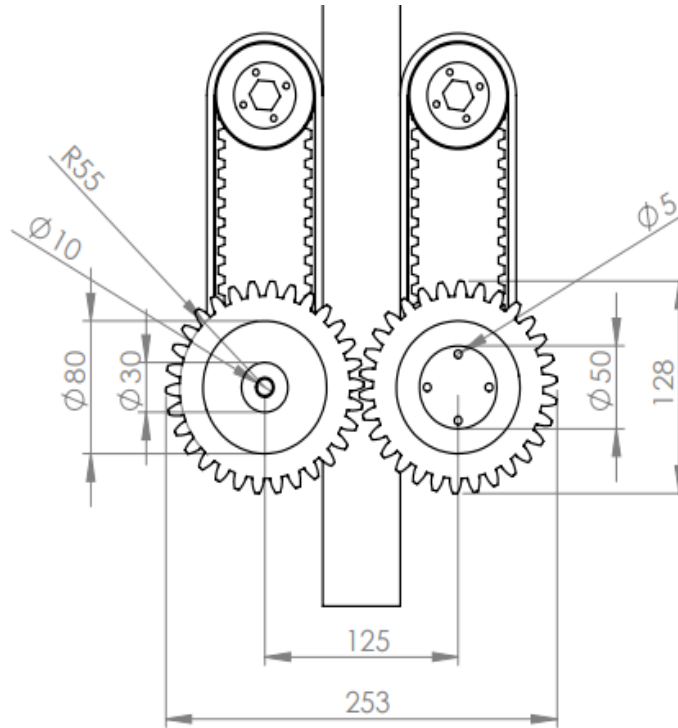


Figura 76. Medidas y ubicación de engranes rectos con relación de transmisión 1:1 (elaboración propia).

El motor utilizado para esta acción debe tener una velocidad que permita generar el envase con el largo más alto disponible, antes de que los sistemas de sellado sean accionados. Para calcular esta velocidad se tiene que la distancia máxima es 30 centímetros y el tiempo entre cada accionamiento es de 0.8 segundos. Si por cada vuelta que gira el motor se recorren 23.56 centímetros, se tiene que en 1.27 vueltas se logra recorrer los 30 centímetros máximos del envase, considerando que se debe dar 1.27 vueltas en 0.8 segundos, utilizando la misma fórmula de la ecuación 6 se tiene que la velocidad angular para este motor es:

$$V = \frac{1.27 \text{ revoluciones}}{0.80 \text{ s}}$$

Así, convirtiendo el resultado a revoluciones por minuto se tiene que:

$$V = 1.58 \text{ RPS} * 60 = 94.8 \text{ RPM}$$

Por lo tanto, se necesitará un motor con una velocidad en un valor comercial que se encuentre dentro del rango calculado, en el mercado el fabricante *ZD Motors* ofrece en su modelo BC dentro de su serie 7060 motorreductores con bajas revoluciones, seleccionando el que muestra la figura 77 y, la tabla 6, muestra sus especificaciones técnicas.



Figura 77. Motorreductor Brushles BC 7060 ZD motors¹²².

Datos técnicos del motor del sistema de arrastre					
Potencia de salida en watts	Tensión de alimentación en volts de corriente directa	Torsión con carga (Newton / metro)	Velocidad en revoluciones por minuto	Relación de transmisión	Corriente de consumo (amperes)
30	24	4.9	100	20:1	1.56

Tabla 6. Especificaciones técnicas del motor ZD Motors BC 7060 (elaboración propia).

La desalineación de lado-a-lado una banda de tracción aplica menor presión que la otra, y el material de envoltura, al deslizarse hacia abajo en el tubo formador, crea tensión desigual en cada lado. Este desalineo también puede causar que el material de envoltura pierda contacto con el cuello formador en uno de sus lados creando pequeñas arrugas horizontales en la bolsa terminada comprometiendo la integridad de la película¹²³. Para evitar este tipo de inconvenientes los mecanismos de arrastre son fijados a la pared de la carcasa y

¹²² Disponible en: <http://docs.zdmotors.com/Brushless%20DC%20Gearmotor-BC7060.pdf?fbclid=IwAR3C2N7XmdIjorCZLDZs7wllOoivX0qIWtnytP9IH08PM-NhWf2g-H9u4c>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

¹²³ Disponible en: https://p3solutionsblog.com/es/tag/envasadora_vertical/, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

colocados mediante soportes bridados para evitar el movimiento de los ejes, en el anexo 7 se muestra el diseño creado por software de este mecanismo propuesto.

3.1.3.5 Diseño del sellador horizontal

El mecanismo de sellado horizontal se encargará de fusionar el tubo de envase para dividir las porciones, y al mismo tiempo cortará el término del envase con el mismo calor de la resistencia de la forma que ya se había implementado en la máquina creada anteriormente, además a diferencia del sellador vertical donde se utilizan dos resistencias para el sellado independiente de cada tubo, en este se planea que solo se utilice una resistencia para sellar y cortar en ambos tubos. Para determinar el tamaño de los elementos requeridos en este sistema se debe considerar la distancia de separación que hay entre las dos líneas, en la figura 78 se muestra la ubicación de los subsistemas anteriores de forma que se puedan establecer las medidas del sellador horizontal.

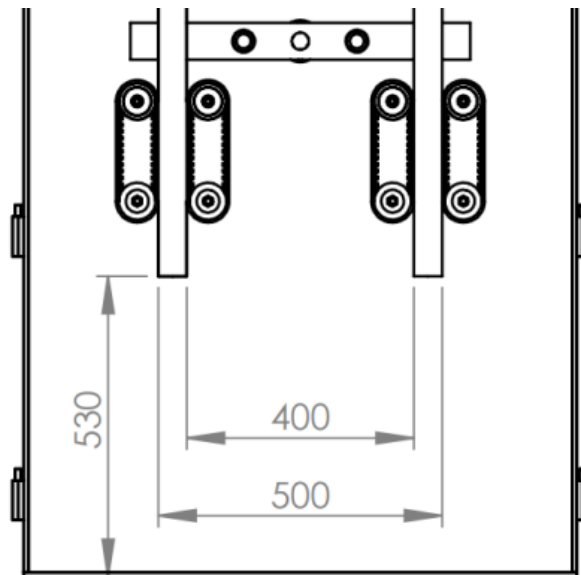


Figura 78. Distancia entre líneas de envasado en milímetros (elaboración propia).

Como se observa en la figura anterior la distancia máxima entre ambas líneas es de 500 milímetros para lo cual se necesita una resistencia del mismo tipo utilizada en el sellado vertical, pero con una longitud más grande que cubra la distancia necesaria para sellar

ambas bolsas, para esto se ocupara una resistencia eléctrica de 60 centímetros, similar a la que mostraba la figura 70 en el sellador vertical.

Para el sistema de accionamiento, se utiliza el mismo mecanismo implementado en el sellado vertical, el sistema de biela manivela-corredera, que para este sellador tiene una construcción diferente. Primero a diferencia del sellador vertical, en este sellado la presión se ejerce hacia atrás, en el sellador vertical el punto de presión se hacía sobre el tubo formador, para este se colocará un soporte delante de la pared de la carcasa, cuando la manivela del mecanismo se ubique hacia atrás la pieza sobre la cual está montada la resistencia presionará sobre el soporte sellando el envase; la figura 79, muestra las dimensiones propuestas para este sistema de sellado.

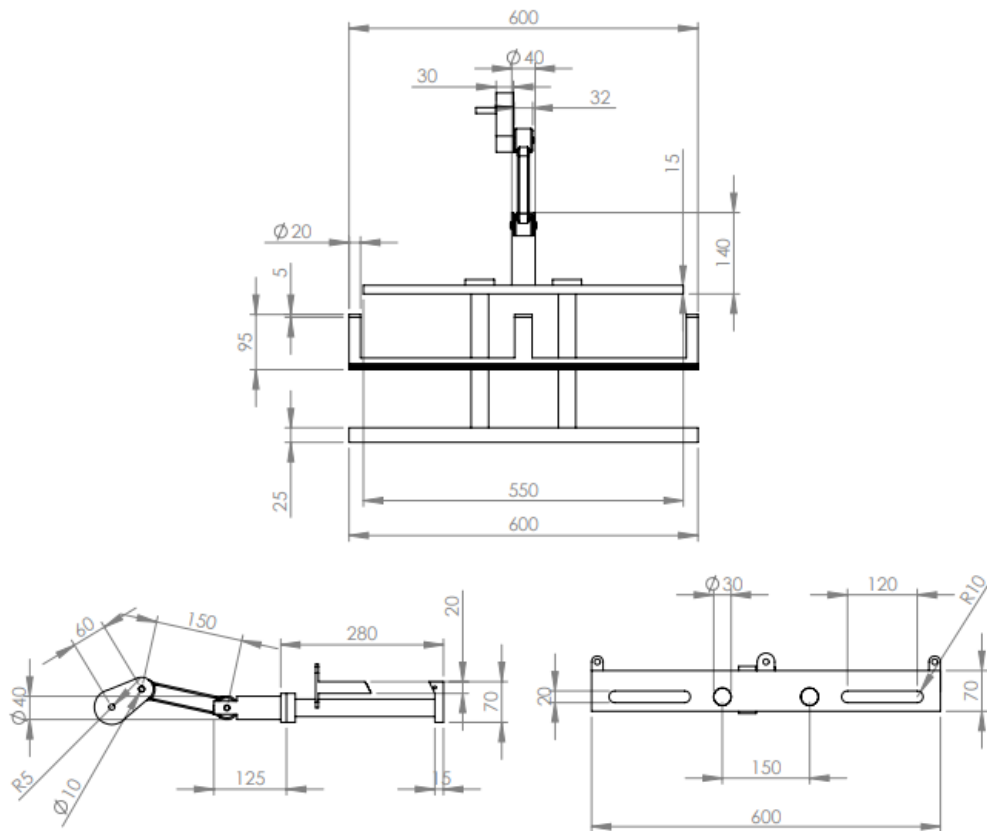


Figura 79. Dimensiones del sellador horizontal en milímetros (elaboración propia).

Este mecanismo además será en el encargado de dividir las unidades usando el mismo calor de la resistencia, esta idea parte del trabajo anteriormente realizado el cual se

menciona en el capítulo 2 donde para lograr esta acción la combinación de la presión y la temperatura de la resistencia era esencial, la presión por un lado la ejercía una palanca que era accionada por un pedal mecánico, mientras que la resistencia generaba un calor continuo donde al mínimo contacto era fusionada, al ejercer presión, el exceso de temperatura y el borde afilado de la resistencia lograba dividir la bolsa. Para esto es importante que la ubicación del soporte donde el sistema de biela manivela hace presión, sea prácticamente nula y la colocación de la resistencia tenga una posición con el borde tal como lo muestra la figura 80.

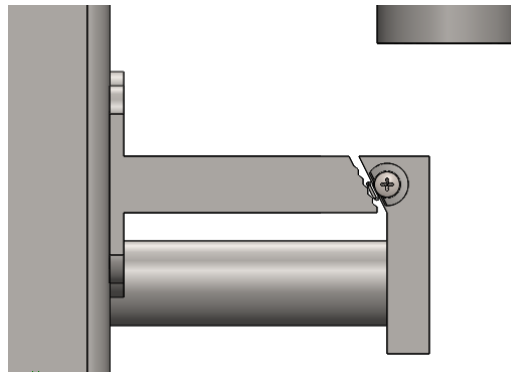


Figura 80. Ubicación y posición del sellador horizontal vista lateral (elaboración propia).

Para el motor encargado de ejercer la presión necesaria del sistema, se utilizará un motor con la misma velocidad calculada para el sellador vertical, pero con una mayor fuerza, por lo que se elige un motorreductor de la marca *ZD Motors* en su modelo Z5D60-24, el cual se muestra en la figura 81 y donde la tabla 7 muestra las especificaciones técnicas del componente.

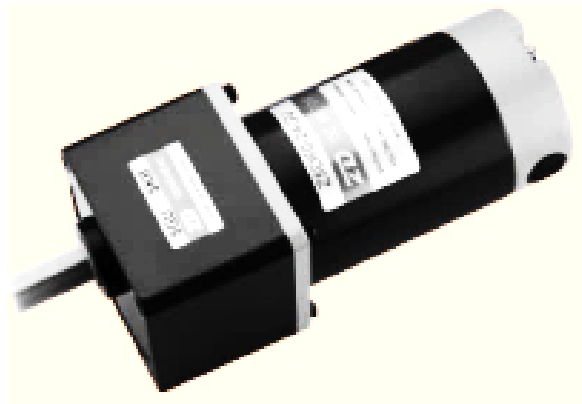


Figura 81. Motorreductor ZD Motors Z5D60-24¹²⁴.

Datos técnicos del motor del sistema de arrastre					
Potencia de salida en watts	Tensión de alimentación en volts de corriente directa	Torsión con carga (Newton metro)	Velocidad en revoluciones por minuto	Relación de transmisión	Corriente de consumo en (amperes)
60	24	10.1	77	37:1	3.5

Tabla 7. Especificaciones técnicas del motor ZD Motors Z5D60-24 (elaboración propia).

En el anexo 8, se muestra el diseño creado por software de este mecanismo mostrando los elementos que conforman este ensamble. Este mecanismo es la última etapa del proceso de envasado ya que aquí es donde se obtienen las unidades individuales para su distribución, por lo que las diferentes etapas del proceso concluyen con la elección del actuador encargado de darle movimiento a cada mecanismo.

Una vez analizados los subsistemas de la máquina, se pueden definir los componentes eléctricos encargados de automatizar el proceso, de modo que con base a las especificaciones mencionadas de cada subsistema se pueda integrar una acción de control para la correcta respuesta en el tiempo determinada.

La selección de estos elementos definirá el funcionamiento de los componentes de modo que ejecuten la sincronización correcta con base a los parámetros establecidos de la

¹²⁴ Disponible en: <http://docs.zdmotors.com/DC-Gear-Motor-60W.pdf>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

producción esperada. A continuación, se realiza la selección de los dispositivos eléctricos utilizados en la presente propuesta de diseño.

3.1.5 Selección de controlador

El controlador es el elemento principal en el que se basan las condiciones de operación para la selección de los dispositivos empleados en los demás subsistemas. Para realizar la selección del controlador debemos observar las opciones que se ofertan en el mercado, el modelo del controlador depende del proceso en que se será implementado, por lo que se debe hacer una cuantificación de los elementos que debemos controlar y aquellos dispositivos que realizan mediciones necesarias para el correcto funcionamiento de los subsistemas que se mencionan más adelante, permita definir las especificaciones indispensables del controlador. Los criterios que se toman para realizar la selección del controlador son los siguientes:

- Número de entradas (DI/AI)
- Número de salidas (DO/AO)
- Capacidad de memoria
- Comunicaciones (Protocolos)
- Software
- Precio

3.1.5.1 Cuantificación de entradas y salidas

En un inicio la característica principal para la selección del controlador es el número de entradas y salidas (digitales y analógicas) con las que cuenta el dispositivo, ya que estas se usarán para manipular los elementos finales de control, por lo que hacer una cuantificación de los elementos a usar definirá el tamaño y características del controlador; en la tabla 8, se enlistan los dispositivos que funcionan como entradas dentro del proceso propuesto.

Cuantificación de elementos para entradas		
Elemento	Descripción	Cantidad
Botón de paro de emergencia	Encargado de detener el proceso aun cuando no haya terminado de generarse el envase.	1
Botón de arranque	Encargado de iniciar el proceso de envasado, activando todos los subsistemas.	1
Botón de paro	Encargado de detener el proceso de envasado, desactivando todos los subsistemas (detener forzosamente hasta generar el envase).	1
Sensor de bajo nivel	Encargado de notificar que el producto en la tolva se encuentra al 20% o por debajo.	2
Sensor de barrera de <i>film</i>	Encargado de notificar que el rollo de <i>film</i> está por agotarse	2
Sensor de temperatura sellador horizontal	Encargado de obtener la medición de la temperatura en la resistencia para la fusión y corte de cada envase por unidades.	1
Sensor de temperatura sellador vertical	Encargado de obtener la medición de la temperatura en la resistencia para la fusión que forma el tubo del envase.	2
Sobrecalentamiento en resistencia horizontal	Encargado de indicar en la HMI un sobrecalentamiento en la resistencia de sellado horizontal.	1
Ajuste de temperatura en resistencia horizontal	Encargado de indicar que la temperatura de	1

Tabla 8. Cuantificación de elementos para entradas (elaboración propia).

Una vez consideradas las señales que ingresan al controlador, también existen elementos que se encargaran de realizar las acciones consideradas en el proceso del envasado de cacahuate y que a su vez en relación con las condiciones de funcionamiento del actuador que se utilice deberá contar con el tipo apropiado de señal para ejecutar correctamente la tarea asignada. En la tabla 9, se enlistan aquellos dispositivos que reciben las señales enviadas por el controlador.

Cuantificación de elementos para salidas		
Elemento	Descripción	Cantidad
Motor asíncrono 120 VCA	Elemento delegado para ejecutar el movimiento rotacional de los dosificadores	1
Motorreductor VCD para sellador horizontal	Elemento delegado para deslizar el sellador de la fusión y corte de los envases.	1
Motorreductor VCD para sellador vertical	Elemento delegado para deslizar los selladores de la fusión y formación del tubo de envasado.	1
Motorreductor VCD para ajuste volumétrico de los discos dosificadores	Elemento delegado para realizar el ajuste volumétrico con relación al peso solicitado	2
Motorreductor VCD para arrastre de bolsa	Elemento encargado de determinar la longitud del envase	2
Resistencia de selladoras verticales	Elemento encargado de mantener la temperatura al nivel adecuado para el correcto sellado de la bolsa.	2

Tabla 9. Cuantificación de elementos para salidas (elaboración propia).

Capacidad de memoria

La capacidad de la memoria se determina en función del número de entradas y salidas del proceso, pero primordialmente en la cantidad de operaciones que se realizan dentro de la programación en el software, por lo que para la selección se debe observar esta característica en el modelo del PLC a utilizar.

Comunicaciones

En este punto se considera la aplicación con otros elementos con los que las herramientas de software y hardware establecerán comunicación con el fin de enviar y recibir datos del proceso, en razón a lo planteado en la propuesta de diseño esta será una HMI (Interfaz humano Máquina) y un PLC (Controlador Lógico Programable), de modo que una comunicación con un protocolo Ethernet es adaptable en este caso y más que suficiente para la aplicación que está destinada, puesto que los datos que se intercambian en el

proceso no recorren largas distancias y el número de dispositivos que establecen una comunicación tampoco son una cantidad importante a considerar para la implementación de configuraciones de red superiores.

Software

La plataforma en la cual se desarrollan las operaciones que generan el código de programación depende del fabricante, pues cada uno tiende a desarrollar una interfaz diferente para sus modelos y que no todos ofrecen su acceso de manera gratuita, además es necesario tener los conocimientos indispensables para el manejo del software, en este respectivo caso se tiene familiarización con la interfaz de TIA Portal manejada en la asignatura de Control de Máquinas y Procesos Eléctricos, en la cual además de desarrollar el código de programación para el PLC, también es posible diseñar la interfaz de la HMI por lo que no es necesario adquirir un programa extra para el diseño de la HMI.

Precio

Si bien la compra de un controlador predomina más en cuanto a la aplicación a la que se integra, el precio de oferta puede ser un factor importante cuando se tiene un presupuesto estimado por lo que la inversión del controlador debe ser accesible pero que cumpla con las especificaciones que se requieren en la implementación del proceso; para este tópico se recomienda ver el apartado correspondiente en este trabajo, en el que se aborda con más detalle la relación costo-beneficio del proyecto por completo.

3.1.5.2 Elección del controlador

Para esta propuesta y de acuerdo a los criterios de selección, se optó por utilizar un PLC del fabricante que se ha ocupado durante la trayectoria académica, particularmente en la asignatura de control de máquinas y procesos eléctricos que se imparte en la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, este controlador es el modelo SIMATICS S7-1200 CPU 1214C de la marca Siemens, la elección está ligada a que es el equipo con que se tiene una mejor familiarización con su interfaz y manejo del entorno de programación, a

continuación se describen sus características físicas así como de rendimiento y precio comercial que se oferta en el mercado. La figura 82 muestra el ejemplo de este controlador.



Figura 82. PLC Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1214C¹²⁵.

Sin embargo, dentro de este modelo de controlador se tienen diferentes versiones de dispositivos en relación con la tensión de alimentación y voltajes de control, de modo que en este caso específico dependido de los elementos a controlar se elegirá uno que permita controlar correctamente los actuadores.

¹²⁵ Disponible en: <https://www.solucionesyservicios.biz/WebRoot/StoreES2/Shops/64466233/552E/B4E3/AA67/3B8F/761D/C0A8/2ABB/FDD8/6ES72141AG400XB0.pdf>, fecha de consulta 8 de abril de 2020.

Comparativa técnica de las versiones del modelo S7-1200 CPU 1214C			
Designación del controlador	AC / DC / relé	DC / DC / DC	DC / DC / relé
Tensión de alimentación en volts de corriente continua	120 – 230 (volts de corriente alterna)	24	24
<ul style="list-style-type: none"> • Rango máximo • Rango mínimo 	264 85	20.4 28.8	20.4 28.8
Corriente de consumo en miliamperes	100 a 120	500	500
<ul style="list-style-type: none"> • Corriente máxima • Corriente de entrada 	50 A 230 300 A 120	1500 c/módulos 12 Ampers a 28.8 Volts	1500 c/módulos 12 Ampers a 28.8 Volts
Memoria de datos	100 kilobytes	100 kilobytes	100 kilobytes
Entradas digitales	14 integrado	14 integrado	14 integrado
<ul style="list-style-type: none"> • A tren de pulsos 	6 a alta velocidad	6 a alta velocidad	6 a alta velocidad
Entradas analógicas	Si	Si	Si
<ul style="list-style-type: none"> • Rango de entrada 	0 a +10 Volts	0 a +10 Volts	0 a +10 Volts
Salidas digitales	10	10	10
<ul style="list-style-type: none"> • A relé • Alta velocidad 	10 0	0 con ≤ 5 1 con ≥ 15 4 a 100 kilohertz	10 0
Salidas analógicas	0	0	0
Protocolos/ Comunicaciones	Ethernet Profinet	Ethernet Profinet	Ethernet Profinet

Tabla 10. Comparativa técnica de las versiones del modelo S7-1200 CPU 1214C (elaboración propia).

Con relación a lo que muestra la tabla 10 se observa una comparativa entre las tres diferentes versiones que se manejan con el fin de elegir el que se adapte mejor a la ejecución de las acciones de los actuadores dentro del sistema.

En un inicio se muestra que el CPU 1214C AC / DC / relé, no necesita una fuente de alimentación externa para su funcionamiento puesto que es posible energizarlo directamente de una línea de 120 volts de corriente directa lo que reduce el presupuesto al no integrar el costo de una fuente de 24 volts de corriente directa, mientras que para las

otras dos versiones es necesario adquirir una fuente de alimentación lo que aumenta el costo de adquisición.

Si bien los 3 contienen la misma cantidad de memoria que permitirá desarrollar las instrucciones del proceso y al tener de igual la misma cantidad de entradas digitales que con relación a la tabla 10 satisfacen la cantidad de señales de entrada así como el tipo al que corresponden, la principal diferencia radica en las señales de salida, como se observa el CPU 1214C AC / DC / relé y el CPU 1214C DC / DC / relé sus salidas solo activan o desactivan los elementos de automatización, y no permiten generar una variación en la señal de salida para obtener un funcionamiento diferente.

Mientras que en el CPU 1214C DC / DC / DC se tienen 4 salidas digitales con tren de pulsos de 100 kilohertz lo que permite generar señales de ancho de pulsos (PWM) y con ello simular la señal analógica que permita controlar la velocidad de los motores a través de una señal digital. En cuanto al costo de adquisición que es de aproximadamente 6,250 pesos mexicanos¹²⁶ y el software de programación es el mismo para los 3 por lo que no existe una diferencia entre estos aspectos, lo que lleva a la conclusión en cuanto a las consideraciones descritas con anterioridad que la mejor opción para la propuesta de diseño es el CPU 1214C DC / DC / DC ya que el tren de pulsos que maneja este controlador nos permitirá modificar mediante salidas digitales, la velocidad en el arrastre de la bolsa y ajustar la temperatura de los selladores para que quede sincronizada con la velocidad de rotación de los dosificadores, siendo este el modelo que se ocupará en la propuesta de diseño para el envasado de cacahuates.

3.1.6 Elementos de mando y visualización

Estos dispositivos se basan en las entradas y salidas del sistema, en el particular proyecto serán aquellas que se encontrarán en el gabinete de control y que permitan operar la máquina de manera manual, para ello se hace una cuantificación de las entradas y salidas que pueden ser operadas mediante botoneras y posteriormente ubicadas en el gabinete de control. Entre ellos se encuentran:

¹²⁶ Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-765186989-6es72141ag400xb0-simatic-s7-1200-cpu-1214c-dcdcdc-nuevo- JM?quantity=1#position=7&type=item&tracking_id=db845053-a339-4571-90cb-7bec79e26883fecha, fecha de consulta 7 de Abril de 2020.

- Botón de paro de emergencia
- Botón de paro
- Botón de marcha
- Indicador de marcha
- Indicador de paro
- Indicador de bajo nivel en tolva sección 1
- Indicador de bajo nivel en tolva sección 2
- Indicador de *film* agotado 1
- Indicador de *film* agotado 2

Con base a estos elementos, para el caso de los pulsadores y los indicadores de *film* y nivel se buscan los dispositivos que sean operables con la misma tensión de trabajo con la que opera el PLC (24 Volts de corriente directa), solamente los indicadores de paro y arranque serán operables con 120 volts de corriente alterna para poder activarse con relevadores auxiliares, por lo que se propone utilizar botones e indicadores de la marca *Schneider Electric* dentro de su línea *Harmony* que cuenta con botones e indicadores de plástico biselados, redondos monobloque de 22 milímetros de diámetro.

3.1.6.1 Selección de pulsadores

Primeramente, se seleccionan 2 pulsadores, uno color verde normalmente abierto para el arranque y uno de color rojo normalmente cerrado para el paro de la máquina, en la figura 83 se muestra el ejemplo de estos dispositivos.



Figura 83. Botón pulsador color verde Schneider Electric¹²⁷.

¹²⁷ Disponible en: <https://www.se.com/mx/es/product/XB7NA35/pulsador---de-impulso%2C-verde---no%2Bnc/?range=635-harmony-xb7&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial&parent-subcategory-id=89188>, fecha de consulta 8 de Abril de 2020.

3.1.6.2 Selección de Indicadores

Para el caso de los elementos indicadores se emplearán 6 luces piloto con las mismas medidas, se proponen, una de color verde para indicar que la máquina está operando y uno de color rojo para indicar el paro, estos dos primeros serán con alimentación de 120 volts de corriente directa, para los de corriente directa serán dos de color amarillo para indicar nivel bajo en cada sección de la tolva, y dos de color blanco para indicar el nivel bajo de *film* de plástico en cada línea de envasado. La figura 84, muestra el modelo de las luces piloto mencionadas.



Figura 84. Luz piloto color amarillo Schneider Electric¹²⁸.

3.1.6.3 Selección de paro de emergencia

Por último, se necesita un botón de paro de emergencia que se encargue del apagado de los subsistemas de la máquina, estableciendo una opción de seguridad ante eventos inesperados provocados por malas prácticas o posibles fallas. El elemento de emergencia cuenta con des enclavamiento manual, que es de utilidad cuando el operario de la máquina nota alguna eventualidad en el funcionamiento del proceso y es necesaria la desactivación inmediata de los subsistemas, de manera tal, que en una emergencia real se pueda acceder y accionar presionando o girando el paro total. Este será un botón tipo zeta de 40 milímetros de diámetro, la figura 85, muestra el botón de paro de emergencia propuesto.

¹²⁸ Disponible en: <https://www.se.com/mx/es/product/XB7EV05GP/piloto-de-%C3%B8-22---amarillo---led-integrado---120-v---terminal-tornillo/?range=635-harmony-xb7>, fecha de consulta 8 de Abril de 2020.



Figura 85. Botón paro de emergencia tipo zeta Schneider Electric¹²⁹.

El total de los elementos permitirá conocer el número de entradas que tendrá el sistema, además de desarrollar una distribución de estos dispositivos con las especificaciones de las medidas dadas y contemplar las modificaciones que se harán en el tablero donde serán instalados. La tabla 11 muestra las especificaciones de cada pulsador y alarma con relación a su acción respectiva.

Descripción de botones e indicadores seleccionados		
Elemento	Descripción	Cantidad
Botón de paro de emergencia	Harmony XB7NS8442 Parada de emergencia Ø 22, color rojo pulsador de seta Ø 40 milímetros - girar para desenclavar - 1 contacto normalmente cerrado	1
Botón de arranque	Harmony XB7NA31 Pulsador de impulso, color verde, 1 contacto normalmente abierto	1
Botón de paro	Harmony XB7NA42 Pulsador de impulso, color rojo, 1 contacto normalmente abierto	1
Indicador de marcha	Harmony XB7EV03BP pilot light led 120 volts color verde	1
Indicador de paro	Harmony XB7EV04BP pilot light led 120 volts color rojo	1
Indicador de bajo nivel	Harmony XB7EV05BP round pilot light Ø 22 – color amarillo- integral LED – 24 volts	2
Indicador de bajo <i>film</i>	Harmony XB4BVB6 round pilot light Ø 22 – color blanco - integral LED - 24Volts	2

Tabla 11. Descripción de botones e indicadores seleccionados (elaboración propia).

¹²⁹ Disponible en: <https://www.se.com/mx/es/product/XB7NT845/monolithic-emergency-stop%2C-plastic%2C-red-mushroom-%C3%B840%2C-%C3%B822%2C-latching-push-pull%2C-1-no-%2B-1-nc/?range=635-harmony-xb7>, fecha de consulta 8 de Abril de 2020.

3.1.6.4 Selección de la HMI

El uso de una Interfaz humano máquina simplifica las tareas de ajuste para los parámetros de operación de la máquina, donde se reducen entradas al controlador a través de botoneras por medio de una pantalla táctil, la cual además de englobar todos los valores de entrada, ofrece al usuario una mejor guía de manejo del proceso lo que resulta accesible, para diseñar esta interfaz la misma herramienta del software que se ocupa para la programación del PLC también sirve para generar la interfaz, por lo que se opta usar una HMI de la misma marca que es *Siemens* en su modelo SIMATIC KTP700 *Panel Basic*, la cual, se muestra en la figura 86.

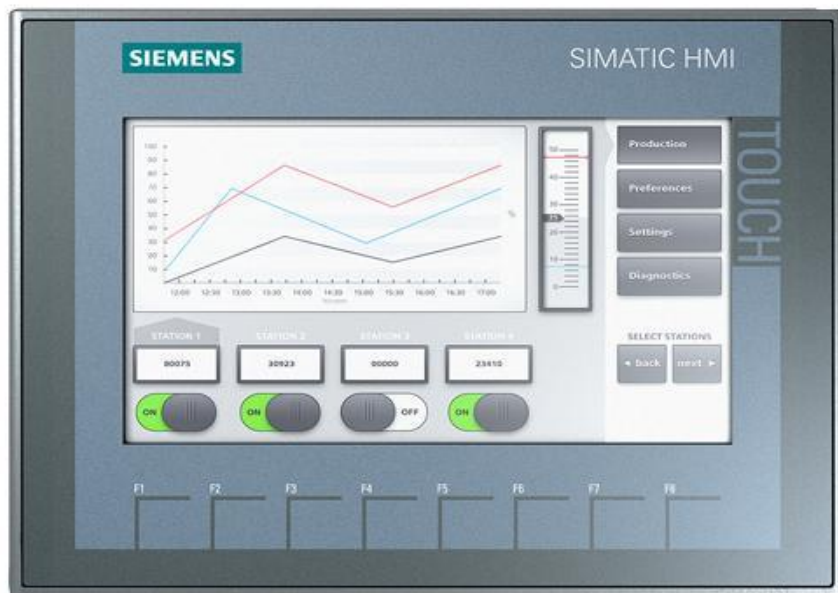


Figura 86. Monitor HMI Siemens Simatic KTP700 Panel BASIC¹³⁰.

Esta cuenta con un manejo con teclado/táctil, pantalla TFT de 7 pulgadas, una visualización de 65536 colores, comunicación con Interfaz PROFINET y es configurable a partir de WinCC Basic V13/ STEP 7 Basic V13, lo que permite la correcta comunicación con el PLC seleccionado. Además, usando TIA Portal, es posible ejecutar una simulación para la corroboración de las instrucciones y perfecta comunicación entre la HMI y el controlador.

¹³⁰ Disponible en: <https://www.acomee.com.mx/articulo.php?search=6AV2123-2GB03-0AX0&id=SIEMENS&pro=6AV2123-2GB03-0AX0>, fecha de consulta 8 de Abril de 2020.

En este monitor se ingresarán los datos técnicos del empaque, como el peso de la presentación, la longitud de la bolsa y la temperatura de sellado para el material, además de mostrar información sobre la operación de la máquina como el producto a envasar, los rangos de peso para cada uno, las unidades creadas entre otras, estos datos serán enviados por *ethernet*, lo que requerirá un cable UTP con conector RJ45, tal como lo muestra la figura 87, para la comunicación entre estos dos elementos.



Figura 87. Cable de comunicación Ethernet UTP conector RJ45¹³¹.

3.1.6.5 Selección del controlador de temperatura

Este controlador se encargará de modificar la temperatura de fusión y corte en la resistencia del sellado horizontal la cual es utilizada para ambas líneas, el controlador de temperatura ocupará una salida a relé de pulsos integrada directamente dentro de él y con ello controlar mediante la variación de la frecuencia, la modulación del ancho de pulsos (PWM). Se ocupará un control de temperatura relé de *Schneider Electric* REG - 48 x 48 milímetros – 110-240 volts de corriente alterna-relé de estado sólido, donde la figura 88 muestra su modelo físico.

¹³¹ Disponible en: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/support/articles/000007187/network-and-i-o/ethernet-products.html>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 88. Controlador de temperatura REG 48X48 milímetros marca Schneider Electric¹³².

Este dispositivo es útil para el control específico de la temperatura, además de contar con una entrada analógica, evitando invertir para el PLC en un módulo de expansión de entradas análogas e integrar una salida análoga para la variación de la temperatura en la resistencia, este controlador cuenta con 2 salidas a relé que permitan enviar las señales cuando la temperatura en la resistencia horizontal sea la correcta para comenzar el proceso y una más para indicar si existe sobrecalentamiento, estas configuraciones se realizan con los controles situados en el frente.

3.1.7 Alimentación

3.1.7.1 Dispositivos de control

Para los suministros eléctricos es indispensable conocer la tensión de alimentación y la corriente de consumo de cada uno de los dispositivos que los requiere y con ello elegir una fuente capaz de suplir la demanda de energía para todos ellos. En la tabla 12 se enlistan los dispositivos electrónicos que requieren de una alimentación independiente para su funcionamiento, determinando las tensiones de salida con las que debe contar la fuente necesaria.

¹³² Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/REG48PUN1LHU/temperature-control-relay-reg---48-x-48-mm---100..240-v-ac---1-solid-state-relay/> ,

Dispositivos de control con suministro de 24 Volts de corriente directa		
Elemento	Tensión de alimentación en volts	Corriente de consumo
PLC S7-1200 CPU 1214C	24	1.5 amperes
HMI KTP 700 Panel Basic	24	230 miliamperes

Tabla 12. Dispositivos electrónicos con suministro eléctrico de 24 volts (elaboración propia).

Para estos elementos se elige una fuente de alimentación con al menos 2 amperes de corriente a la salida, y con 2 salidas de 24 volts de corriente directa, con alimentación de 120 volts de corriente alterna, el mismo fabricante ofrece también fuentes de alimentación para estos dispositivos siendo la *Power Supply Sitop Psu100l* de la marca Siemens modelo 6ep1332-1b00, esta fuente cumple las especificaciones requeridas, la cual, es mostrada en la figura 89.



Figura 89. Fuente de alimentación Siemens PSU100 24¹³³.

3.1.7.2 Dispositivos de automatización

Dentro de los dispositivos eléctricos se tienen los motores de corriente continua, los cuales, no pueden ser activados por las mismas salidas del PLC ya que la corriente de salida del

¹³³ Disponible en: <http://www.reporteroindustrial.com/documenta/contenido/135006/SITOP-FUENTES-DEALIMENTACION.pdf>, fecha de consulta 5 de abril de 2020.

PLC otorga una corriente de 0.5 amperes, mientras la corriente de consumo de cada uno de los motores es de por lo menos 1.2, por lo que requiere una fuente de alimentación para la activación de estos mecanismos. La tabla 13, muestra los dispositivos eléctricos con sus especificaciones de alimentación.

Dispositivos de automatización con suministro de 24 volts de corriente directa			
Elementos	Cantidad	Tensión de alimentación	Corriente de consumo (amperes)
Motorreductor PG52MZY52	1	24	2.4
Motorreductor PG52MZY52	1	24	2.4
Motorreductor BC 7060	1	24	1.56
Motorreductor BC 7060	1	24	1.56
Motorreductor 25D60-24	1	24	3.5
Motorreductor <i>Brigsmart</i>	1	24	0.7

Tabla 13. Dispositivos eléctricos con suministro eléctrico de 24 volts (elaboración propia).

En la tabla anterior se observa que la demanda de corriente en conjunto para estos dispositivos es aproximadamente de unos 12.1 amperes, sin embargo, no todos los elementos trabajan durante el proceso, los motores encargados de modificar el volumen de los vasos telescópicos solo funcionan antes de iniciar la marcha, de modo que cuando se activa el proceso, estos motores ya no demandan más corriente, por lo que la corriente total de demanda es de 7.4 amperes. La fuente debe tener una alimentación de 120 volts de corriente alterna, en el mercado se oferta el modelo *Power Supply, AC-DC, 240 Watts, Output 10^a* de la marca *Industrial Shields*, la cual, se muestra en la figura 90.



Figura 90. Fuente de alimentación Industrial Shields Power Supply AC-DC 240 Watts salida a 24 volts de corriente directa¹³⁴.

Con esta fuente se supe la demanda corriente que requieren los componentes eléctricos mencionados en la tabla 13, de este modo es posible controlar los dispositivos correctamente, además de que con esta misma fuente es posible alimentar los sensores que se ocuparan y aprovechar la mayor eficiencia de esta fuente.

3.1.7.3 Transformador

Para el calentamiento de las resistencias, se emplea el mismo sistema de sellado mencionado en el capítulo 2 donde se utilizaba un trasformador de 120 a 12 volts de corriente alterna para cada resistencia de 30 centímetros, necesita un aproximado 75 watts para generar la temperatura correcta debido a la poca resistencia eléctrica. En el mercado se oferta transformador de control, clasificación volts amperes 150 volts amperes, voltaje de entrada 120 volts de corriente alterna, voltaje de salida 12/24 volts de corriente alterna, mostrado en la figura 91.

¹³⁴ Disponible en: https://www..com/es_ES/shop/product/is-ac24vdc10adin-din-rail-power-supply-ac-dc-240w-1-output-10a-at-24vdc-691?category=12, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 91. Transformador 150 volts-amperes 120 volts de corriente directa 12/24 volts de corriente alterna¹³⁵.

Este transformador cumple con la demanda de corriente que para esta propuesta de diseño se necesitaran dos de estos transformadores, uno será para alimentar las resistencias del sellador horizontal y otro para el sellador horizontal, de esta forma la temperatura podrá ser controlada con un relé de estado sólido.

3.1.8 Selección de sensores

3.1.8.1 Sensor de nivel

Para la elección del sensor de nivel, se pretende que sea de tipo interruptor, ya que este dato solo es importante si el nivel de la tolva se encuentra en bajo, pues en caso de quedarse sin producto la tolva, la máquina se detendrá después de un número determinado de unidades evitando que se realicen envases sin producto, además de que por el diseño descrito en el anterior capítulo, la tolva cuenta con una mirilla que muestra el nivel en todo momento dentro de la tolva. Con base en estos criterios se selecciona un sensor fotoeléctrico de la marca *Autonics* en su serie BPS ya que es fácil de montar en superficies

¹³⁵ Disponible en: https://www.grainger.com.mx/producto/DAYTON-Transformador-de-Control%2C-Clasificaci%C3%B3n-VA-150VA%2C-Voltaje-de-Entrada-120VCA%2C-Voltaje-de-Salida-1224VCA/p/4MTP6?analytics=alternateProducts#additional_InfoSection, fecha de consulta 5 de abril de 2020.

planas y una distancia de detección dentro de los límites donde se pretende aplicar. En la figura 92 se muestra este tipo de sensor.



Figura 92. Sensor fotoeléctrico de barrera Autonics tipo plano¹³⁶.

Estos sensores se colocarán dentro de las paredes de la tolva en la parte inferior de la tolva donde se encuentra aproximadamente al 20 por ciento de capacidad, un par por cada sección de la tolva ya que dependiendo de las porciones programadas para dosificador la demanda de producto será diferente para cada sección.

3.1.8.2 Sensor de detección de film

Para este sensor se aplican las mismas condiciones que el sensor de nivel, ya que en caso de agotarse el *film* es necesario que la máquina se detenga evitando que las porciones sean descargadas sin haber un envase para su recepción. Para estos sensores se requiere que se coloquen lo más cercano al eje donde se coloca el *film* lo que la forma del sensor debe permitir poder colocarse de este modo. El sensor fotoeléctrico *Autonics* en su serie BRQ Series que son sensores cilíndricos con rosca los cuales pueden ser montados sobre una gran variedad de superficies. La figura 93, muestra el modelo de este tipo de sensor.

¹³⁶ Disponible en: <https://www.autonics.com/series/3000425>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 93. Sensor fotoeléctrico de barrera Autonics BRQ¹³⁷.

Este sensor indicará el momento en el que *film* empiece a agotarse de modo que se contemplen las unidades que quedan por realizarse antes de que se termine el material de envase, tiene capacidad de accionar una carga a 30 volts de corriente continua y 100 miliamperes por lo que además de activar la entrada del PLC también activará la indicación en el tablero lo que permitirá preparar con anticipación el cambio del rollo.

3.1.8.3 Sensor de temperatura

Para el sensor de temperatura que será el encargado de monitorear el calor en las resistencias de sellado tanto vertical como horizontal se utilizará uno que pueda ser colocado detrás de las piezas de los selladores, este sensor debe tener un rango de lectura con base a la temperatura de fusión del *film* que es de 180 grados Celsius por lo que para esta propuesta de diseño se opta por utilizar una termocupla de la marca *Chekman*, en su tipo J, el cual, muestra la figura 94.

¹³⁷ Disponible en: <https://www.autonics.com/series/3000890>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 94. Sensor de temperatura tipo J Chekman¹³⁸.

3.1.9 Dispositivos de conmutación

3.1.9.1 Relé de estado sólido

Para enviar la señal del PWM se necesita un elemento de rápida conmutación el cual aisle la señal con el fin de eliminar ruido y transmitir correctamente la frecuencia del pulso para obtener la velocidad requerida, este debe encontrarse dentro del rango de tensión que maneja el PLC a la salida y que de acuerdo a su instalación pueda montarse en un riel junto con otros elementos, por lo que se opta por utilizar un Relé modular de estado sólido de *Schneider Electric* con modelo SSM1D26BD de 6 amperes conmutación de corriente continua, entrada 4 a 32 volts de corriente continua, salida de 1 a 60 volts de corriente continua que muestra la figura 95.

¹³⁸ Disponible en: <https://www.dimelectrico.com/index.php/termocupla-tipo-j-de-tornillo>, fecha de consulta 12 de Abril de 2020.



Figura 95. Relé de estado sólido SSM1D26BD Schneider Electric¹³⁹.

Este dispositivo permitirá controlar la velocidad de los motores modulando el ancho del pulso generado en el PLC, evitando enclaves debido al rápido tiempo de conmutación y así enviar la señal que determina la velocidad en base a la lógica generada en controlador y con ello sincronizar los accionamientos de cada subsistema. Además, utilizar dos relés de la misma línea con entrada 4 a 32 volts de corriente continua y salida 1 a 60 volts de corriente alterna para el control temperatura de la resistencia.

3.1.9.2 Contactor para motor corriente alterna

Para activar el motor de corriente alterna se utilizará un contactor monofásico el cual activará la secuencia del motor en cuanto se presione el botón de arranque, el contactor se activará cuando el sistema de arrastre se active y para cuando haya terminado de deslizar la longitud de la bolsa, este contactor se desactiva, deteniendo el dosificador cuando el recipiente se encuentre en la ranura que descarga el producto al tubo formador. Para este contactor; la figura 96, muestra el dispositivo de conmutación del motor de la marca *Schneider Electric*.

¹³⁹ Disponible en: <https://www.se.com/ww/en/product/SSM1D26BD/solid-state-modular-relay%2C-6-a%2C-dc-switching%2C-input-4...32-v-dc%2C-output-1%E2%80%A660-v-dc/?range=60278-harmony-solid-state-relays>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 96. Contactor auxiliar TeSys CA2SK 25 amperes Schneider Electric¹⁴⁰.

Este contactor además cuenta con dos contactos auxiliares, uno normalmente abierto que se utilizará para indicar el arranque y otro normalmente cerrado para indicar el paro de la máquina activando los indicadores ya antes mencionados.

3.1.9.3 Relevador de corriente directa

Estos relevadores serán ocupados activar los motores que modifican la altura de los vasos telescópicos, ya que en relación al tiempo de activación se definirá el volumen que contendrán los recipientes que generan las porciones del envase, estos trabajarán con la misma tensión de las salidas del PLC por lo que se opta por utilizar relevadores de la marca Finder en su modelo 38.51.0.125.0060 de 24 volts de corriente continua y 6 amperes de trabajo, disponible en página de grupo IMEX, el cual, se muestra en la figura 97.

¹⁴⁰ Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/CA2SK11F7/contactor-auxiliar-tesys-ca2sk---27mm-1na%2B1nf-110vca/?range=767-tesys-k%2C-d%2C-sk-%28contactores-auxiliares%29&node=12661005502-control-relay&filter=busines-s-1-automatizaci%F3n-y-control-industrial&parent-subcategory-id=3010>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 97. Relevador de 24 volts de corriente directa Finder 30.51.0.125.0060¹⁴¹.

3.1.9.4 Puente H

Son componentes utilizados para invertir el giro en motores de corriente directa, para esta propuesta de diseño, este dispositivo será empleando para invertir el giro en los motores de que ajustan el volumen en los vasos telescópicos, ya que el ajuste del volumen en los recipientes se lleva a cabo en un solo sentido debido a sus conexiones.

El puente H permitirá que cada vez que se modifique la cantidad de las porciones, se llevará hasta el volumen máximo los recipientes y, posteriormente realizar el ajuste en el sentido correspondiente, para ello se empleara un módulo L298N que dispone de 2 puente H independientes, el cual se oferta en línea y se muestra el dispositivo en la figura.

¹⁴¹ Disponible en: <https://es.aliexpress.com/i/4001031768366.html>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

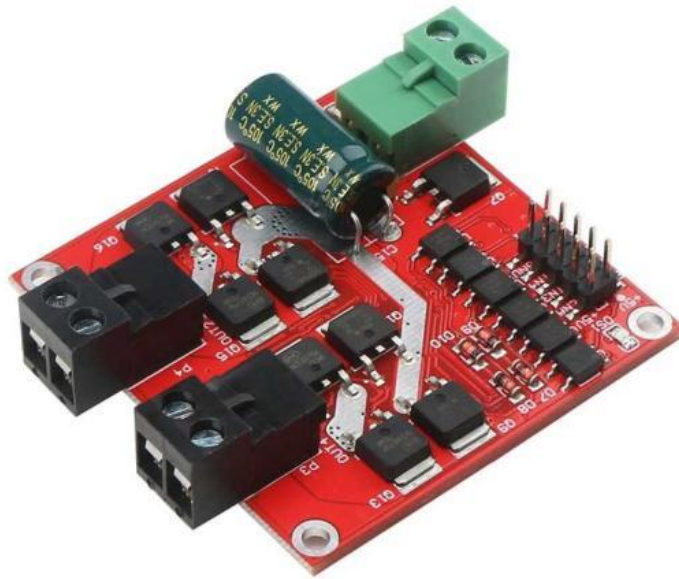


Figura 98. Modulo L298N Puente H¹⁴².

Este dispositivo tiene alimentación de 24 volts de corriente directa, 2 puertos de salida para motores de 12 ó 24 volts de corriente directa y 7 amperes de salida por cada puerto, entrada de control por ancho de pulsos de 3 volts y 5 volts de corriente directa, y entrada de 12 o 24 volts de corriente de directa, para lo cual, se hará uso de estas últimas para para recibir la señal del PLC, así como la corriente de suministro para los motores.

3.1.10 Dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad son de suma importancia para el cuidado de los componentes, con ellos se evita el daño a los componentes electrónicos de baja potencia en caso de siniestros eléctricos, cada uno de ellos debe seleccionarse con base a la tensión de trabajo y la corriente suministrada a cada elemento, pues deben responder cuando alguno de estos parámetros se desvíe.

¹⁴² Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/modulos-para-desarrollo/modulo-l298n-puente-h-driver-motores/>, fecha de consulta

3.1.10.1 Disyuntor para fuentes de alimentación

Estos dispositivos serán los encargados de proteger los elementos de control y sus respectivas fuentes, de modo que ante un imprevisto como sobrecarga o un cortocircuito el paso de la corriente se corte evitando un reemplazo de componentes por fallas eléctricas. Estos elementos serán de 3 amperes para protección del el PLC y de 10 amperes para la fuente encargada de alimentar los motorreductores. En la figura 99, se muestra este dispositivo.



Figura 99. Disyuntor termomagnético TeSys a 3 amperes Schneider Electric¹⁴³.

3.1.10.2 Interruptor termomagnético para motor de corriente alterna

Para proteger el motor de corriente alterna se usará un interruptor termomagnético que se active en caso de un imprevisto en la parte de potencia ocasionados por alguna falla eléctrica, este interruptor soporta una tensión a cortocircuitos de hasta 20 kiloamperes a 400 volts acorde a las normalizaciones de IEC 60947-3, estos datos son suficientes para salvaguardar al motor seleccionado. La figura 100, muestra el interruptor seleccionado.

¹⁴³ Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/GB2CD08/disjuntor-tesys-para-circuitos-de-comando---gb2-cd-%E2%80%933-a---1-p%C3%B3lo%2Bn---1d/?range=670-tesys-gb2>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 100. Interruptor termomagnético TeSys porta-fusible 1PN2A Schneider Electric¹⁴⁴.

3.1.11 Selección del gabinete

Para el gabinete de control que se encargará almacenar, organizar y proteger los elementos de control se pretenden usar dos ubicaciones, el primero contendrá los componentes donde se ingresan los parámetros de operación del sistema como lo son las botoneras y la HMI ubicado en un lugar accesible al operador, en el segundo gabinete se colocarán los componentes de control como lo son el controlador lógico programable, los relevadores de conmutación, fuentes de alimentación y dispositivos eléctricos de seguridad además será el gabinete al que llegarán las señales de los sensores.

3.1.11.1 Gabinete 1

Para estimar el tamaño del gabinete se diseña una distribución de los dispositivos que se integran en cada uno de ellos, se observa la superficie que debe tener la pared de montaje con base en el tamaño de los componentes y su separación entre ellos por lo que para el

¹⁴⁴ Disponible en: <https://www.se.com/es/es/product/DFB1N/tesys-porta-fus%C3%ADvel-1p-n-25a---tamanho-fus%C3%ADve-l-8.5-x-31.5-mm/>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

primer gabinete donde se ingresaran los datos de operación la figura 101 se muestra la distribución de los componentes.

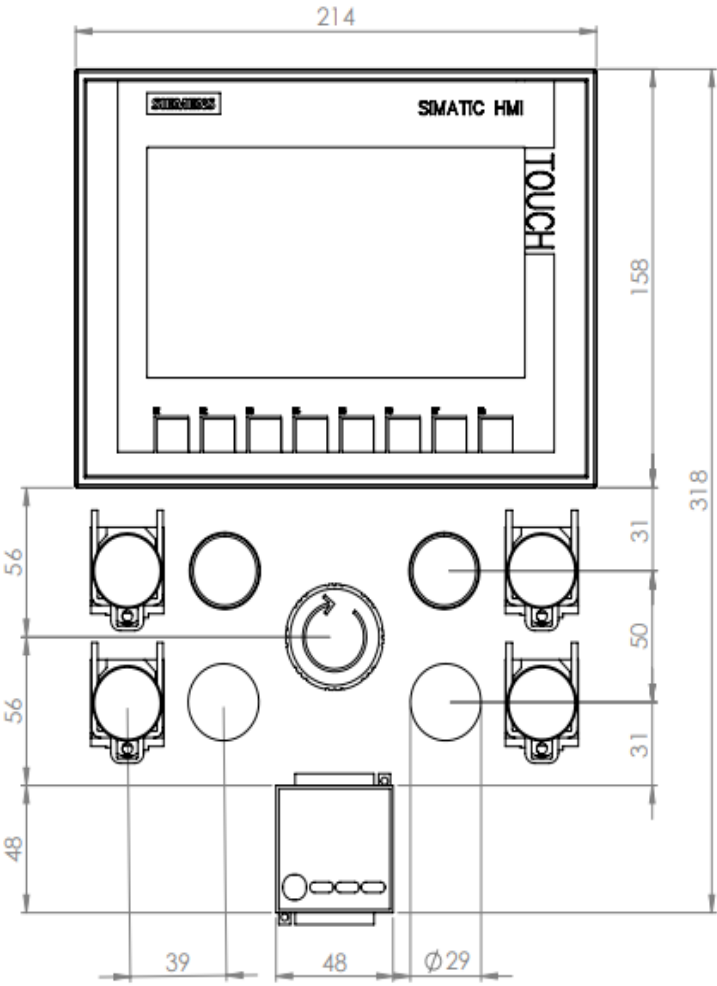


Figura 101. Diseño de distribución para GAB-1 medidas en milímetros (elaboración propia).

Con base en las medidas de los componentes insertados en el gabinete 1 con sus respectivas separaciones, se observa que la altura mínima es de 318 milímetros y el ancho de 214 milímetros, por lo que se opta por utilizar un gabinete de la marca *Schneider Electric* en su modelo NSYCRN43200 P con placa de montaje integrada mostrado en la figura 102 el cual, cuenta con las características de diseño identificadas en la tabla 14.



Figura 102. Gabinete 43200 P de Schneider Electric¹⁴⁵.

Especificaciones del GAB-1					
Medidas (centímetros)	Certificación	Peso (kilogramos)	Normativa	Seguridad	Material
40x30x20	CUL / UL	8.6	IEC 62208	IP66	Acero galvanizado

Tabla 14. Especificaciones del gabinete NSYCRN 43200 P (elaboración propia).

Si bien los elementos son montados sobre la puerta del gabinete, sobre la placa trasera se colocarán clemas de conexión con el propósito de tener una mejor organización de las señales de entrada y con ello facilitar en un futuro el mantenimiento necesario, así como el reemplazo de componentes y modificaciones que surjan.

¹⁴⁵ Disponible en: <https://www.se.com/cl/es/product/NSYCRN43200/%22gabinete-crn-puerta-lisa---400-x-300-x-200mm-%22/?range=2535-spacial-crn&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial&parent-subcategory-id=88376>, fecha de consulta 05 de Abril del 2020.

3.1.11.2 Gabinete 2

Para seleccionar el segundo gabinete se diseña la distribución de los componentes de control tal como se hizo en el primer gabinete, en este estarán instalados los elementos de control como lo son el PLC con su respectiva fuente de alimentación, los relés de estado sólido, interruptores termomagnéticos y clemas de conexión. En la figura 103, se muestra una distribución de los elementos colocados en este gabinete y con ello definir el tamaño indicado.

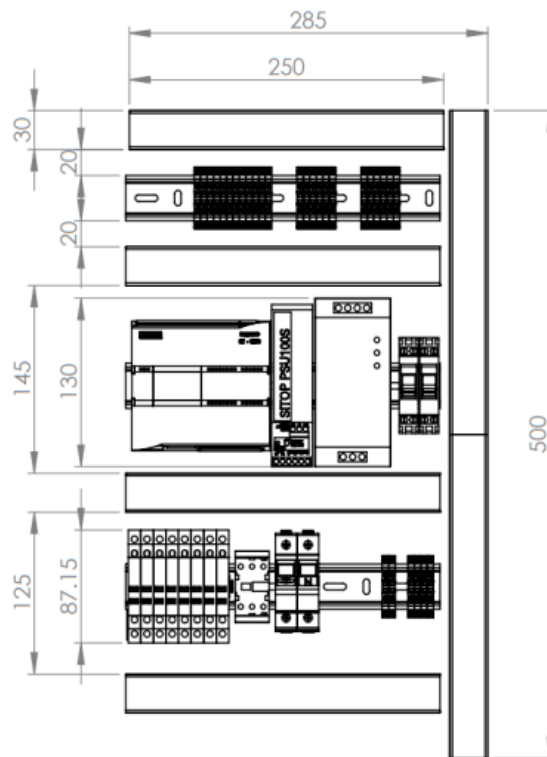


Figura 103. Distribución de componentes TAB 2 en milímetros (elaboración propia).

Como se observa para este gabinete la altura mínima es de 500 milímetros y 285 milímetros de ancho, además debe tener una profundidad de 250 milímetros, por lo cual, se elige un gabinete *Schneider Electric* en su modelo NSYCRN64250 P con placa de montaje integrada mostrado en la figura 104, el cual, cuenta con las características mostradas en la tabla 15.



Figura 104. Gabinete NSYCR64250 P de Schneider Electric¹⁴⁶.

Especificaciones del GAB-2					
Medidas (centímetros)	Certificación	Peso (Kilogramos)	Normativa	Seguridad	Material
60x40x25	CUL / UL	13.8	IEC 62208	IP66	Acero galvanizado

Tabla 15. Especificaciones del gabinete NSYCRN 64250 P (elaboración propia).

3.1.12 Misceláneos

Clemas

La clema es el elemento que establece la conexión eléctrica entre 2 o más conductores físicamente, estableciendo las condiciones de seguridad y protección adecuadas para las tareas de alambrado, para la selección del tipo de clema que se utilizará en ambos gabinetes, se tomaron como referencia el tamaño de los gabinetes seleccionados y el

¹⁴⁶ Disponible en: <https://www.se.com/cl/es/product/NSYCRN64250/%22gabinete-crn-puerta-lisa---600-x-400-x-250mm-%22/?range=2535-spacial-crn&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial&parent-subcategoryid=88376>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

acoplamiento al riel en el que estarán situados. La figura 105, muestra el modelo de las clemas seleccionadas.



Figura 105. Clema de conexión NSYTRV22 para riel DIN¹⁴⁷.

Por lo anterior se selecciona la terminal de conexión de la marca *Schneider Electric* modelo NSYTRV22, que soporta tensiones de hasta 1000 volts y una corriente de 24 amperes, tienen una sección transversal de 2.5 milímetros cuadrados y de entre los detalles que más destacan son la certificación de IEC-Ex y ATEX y el cómodo acople al riel DIN que se selecciona a continuación.

Riel DIN

Para la selección del elemento sobre el que estará montado cada dispositivo de automatización como PLC, fuentes de alimentación, contactores, relevadores, protecciones entre otros, se tomaron como criterios el acondicionamiento de los mismos al riel y las dimensiones del gabinete, es por ello que se selecciona el riel de montaje DIN de 35 milímetros de la marca *Schneider Electric*, ya que es el que mejor se acopla a la línea de dispositivos que se han estado manejando relacionados a la marca y conviene su uso con las facilidades de instalación que ofrece el producto.

¹⁴⁷ Disponible en: <https://www.se.com/mx/es/product/NSYTRV22/bloque-de-terminales-de-paso---2%2C5-mm%C2%B2-24-a-nivel-%C3%BAnico-1x1-tornillo---gris/?range=570-bornes-de-conexi%C3%B3n-linergy-tr>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 106. Riel DIN para montaje en gabinete¹⁴⁸.

Este elemento que muestra la figura 106, estará situado dentro de los gabinetes de control encargándose de sostener y aprisionar los elementos dentro del mismo, previniendo posibles vibraciones y movimientos producidos por la naturaleza de la máquina, desde la fuente de alimentación, PLC, contactores y relevadores de sobrecarga, hasta las clemas, disyuntores y demás dispositivos de control electromagnético.

Canaleta

La canaleta es el medio físico en el cual estará situado el cableado entre dispositivos existentes en los distintos gabinetes, para realizar la distribución correcta del cableado se seguirán los estándares pertinentes, por ello se propone que de acuerdo a las dimensiones estipuladas de los gabinetes y elementos existentes, el ducto ranurado sea de 30 por 30 milímetros, el modelo DXN10062 de la marca *Schneider Electric* el que mejor se acopla a las necesidades descritas, el material es de PVC y posee una resistencia a incendios a una temperatura ambiente de hasta 85 grados centígrados; la figura 107, ilustra el modelo propuesto.

¹⁴⁸ Disponible en: <https://www.grainger.com.mx/producto/SCHNEIDER-ELECTRIC-Riel-de-Montaje%2C-Tipo-Riel-DIN-35mm%2C-Profundidad-0-30%22/p/6CUR2?analytics=searchResults#>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.



Figura 107. Ducto ranurado con tapa¹⁴⁹.

El ducto ranurado estará presente en ambos gabinetes facilitando el libre flujo y conducción del cableado de manera vertical, permitiendo la interconexión de dispositivos de automatización gracias a los huecos paralelos situados en ambos lados del ducto.

Con todos los dispositivos seleccionados se realiza el diseño de ensamblado en cada uno de los gabinetes, de modo que se puedan establecer las conexiones necesarias dentro de ellos y entre ellos para el funcionamiento planteado en la propuesta, y así generar los diagramas necesarios que permitan identificar las variables del proceso.

3.1.13 Distribución de elementos

3.1.13.1 Distribución GAB-1

Una vez seleccionados todos los elementos, para el GAB-1 se realiza mediante SolidWorks un diseño tridimensional del montaje de los componentes, y generar con ellos un diagrama de conexiones que muestre la interacción de entre estos componentes, La figura 108, expone una vista explosionada de los dispositivos montados sobre la puerta del tablero [1], la HMI [2], el indicador de bajo nivel 1 [2], el indicador de bajo film [4], el indicador de paro

¹⁴⁹ Disponible en: https://www.tamex.mx/products/078-dxn10062?gclid=CjwKCAjwZf3BRABEiwA8Q0gg0FQ_p 2xxLdlQelx tzL1cIIA04yVEuRePT0Dngq-OBi4WVq84rp5iRoCqkoQAvD_BwE, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

[5], el botón de paro de emergencia [6], el controlador de temperatura [7], el indicador de arranque [8], el indicador de bajo film 2 [9], botón de arranque [10], el indicador de bajo nivel [11] y la cerradura del gabinete [12].

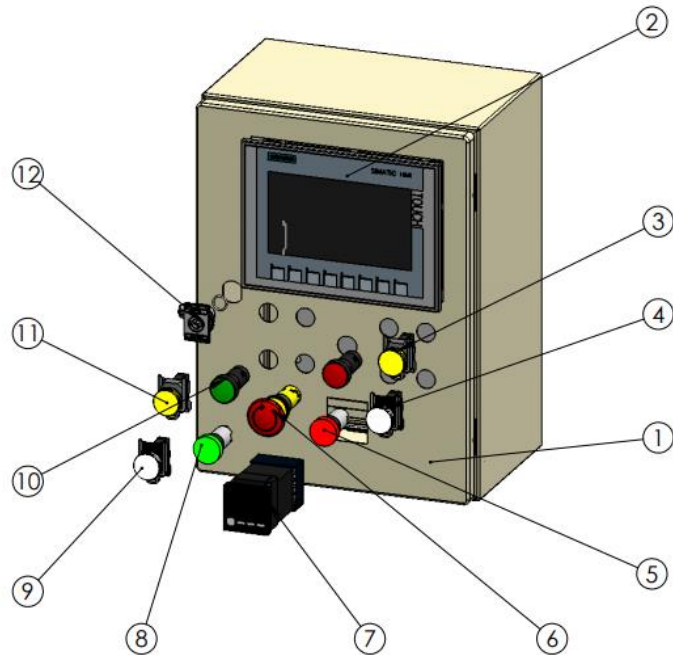


Figura 108. Vista explosionada de los dispositivos en el GAB-1 (elaboración propia).

De igual forma en la parte trasera se colocan las clemas de conexión sobre un riel, organizando las entradas y salidas que llegan al PLC en el segundo gabinete, en la figura 109 se muestran las clemas de conexión en el gabinete, así como el interior de éste conceptualizando una manera detallada de la propuesta de diseño.

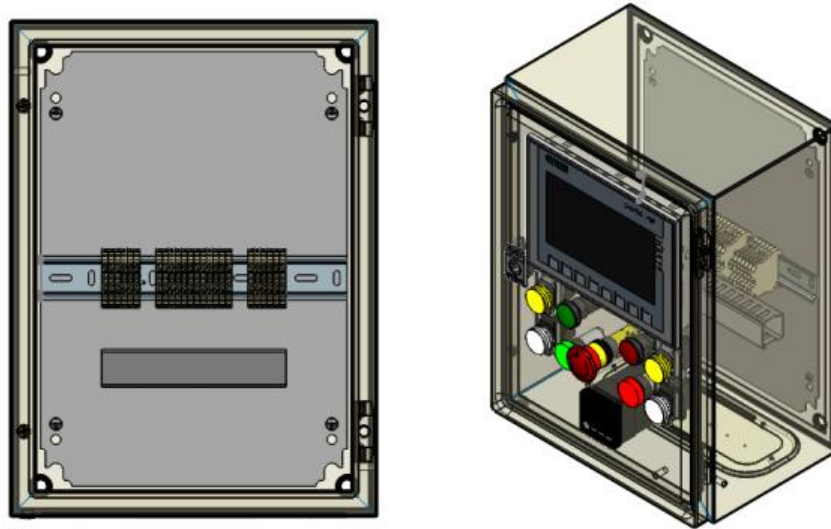


Figura 109. Ubicación y visualización de los componentes internos GAB-1 (elaboración propia).

El montaje de este gabinete se ubica a uno de los extremos de la máquina como se observa en la figura 110, de modo que se encuentre a una altura accesible al operador, y este pueda observar y manipular las variables del sistema de manera rápida y sencilla haciendo uso de la HMI y los botones sobre el gabinete.

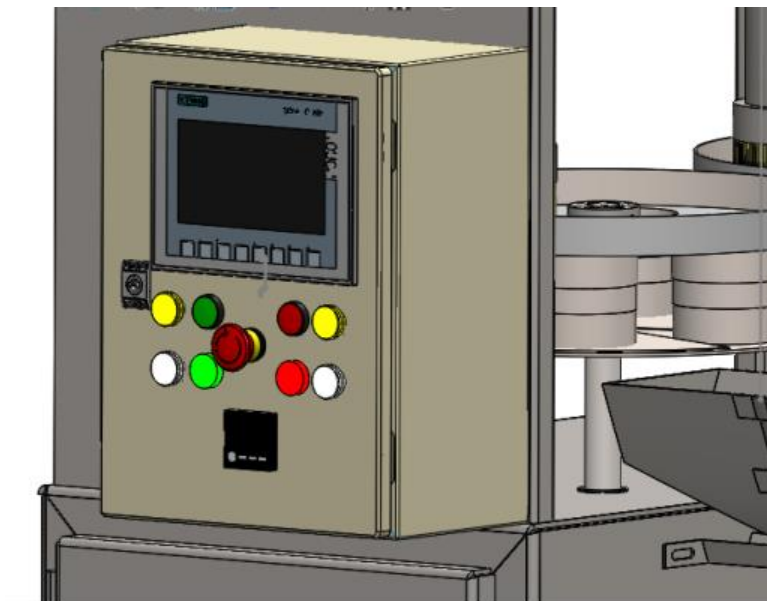


Figura 110. Montaje del GAB 1 en la máquina (elaboración propia).

3.1.13.2 Distribución GAB-2

Para el gabinete 2 la distribución de los elementos se hace igual que en el gabinete 1, situando los elementos de control encargados de adquirir las señales de los sensores y de realizar las operaciones de accionamiento de los subsistemas. En la figura 111, se muestra una vista explosionada de los elementos que se instalarán en este gabinete que son el transformador de alimentación de la resistencia horizontal [1], el transformador de las resistencias verticales [2], los relés de estado sólido [3], las clemas de conexión de la alimentación de 127 Volts [4], el contactor del motor monofásico [5], el controlador lógico programable [6], el interruptor termomagnético del motor de corriente alterna [7], la fuente de alimentación para los motores de 24 volts de corriente directa [8], la fuente de alimentación de la HMI y el PLC [9], las clemas de conexión entre el gabinete 1 y 2 [10], los disyuntores de protección de las fuentes de alimentación [11], los rieles de montaje para los dispositivos [12] y las canaletas por las que se trasladarán los conductores [13].

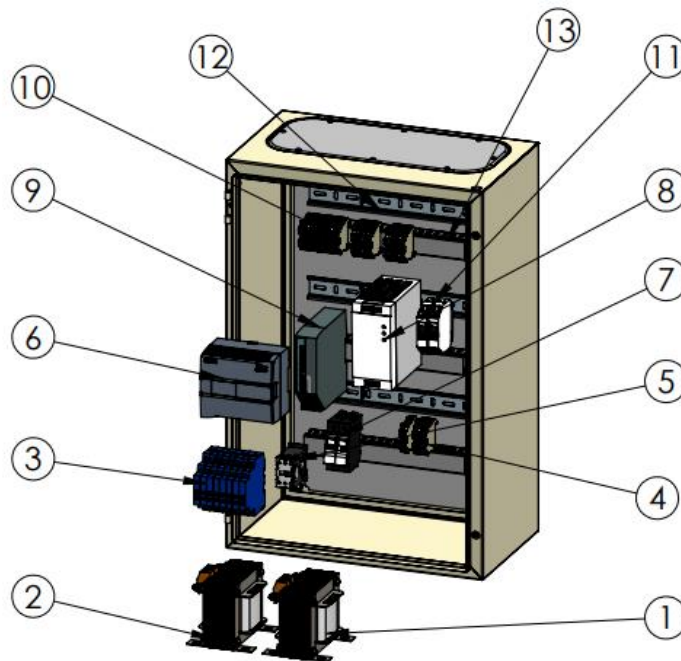


Figura 111. Vista explosionada de los dispositivos en el GAB-2 (elaboración propia).

De igual forma en este gabinete se tienen elementos dentro del sistema como lo son las clemas de conexión, los rieles de montaje para los dispositivos y las canaletas por donde se conducirán los cables de conexión entre estos elementos. En la figura 112, se muestran

los elementos situados dentro del gabinete como el tamaño de espacio que ocupan dentro de este.

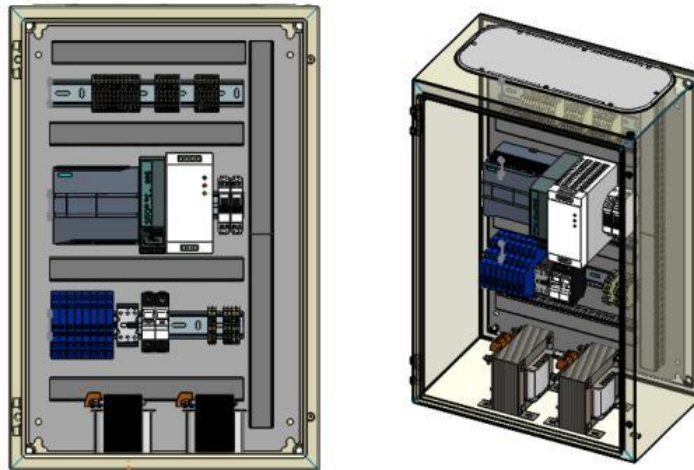


Figura 112. Distribución y ubicación de los elementos dentro del GAB-2 (elaboración propia).

Este gabinete se colocará dentro del armazón de la máquina, de modo que no quede a la vista, la máquina cuenta con una puerta independiente por lo que el gabinete no tendrá puerta propia y en su respectivo caso será cubierta por la puerta de la misma máquina; la figura 113, muestra la instalación de este gabinete en la máquina.

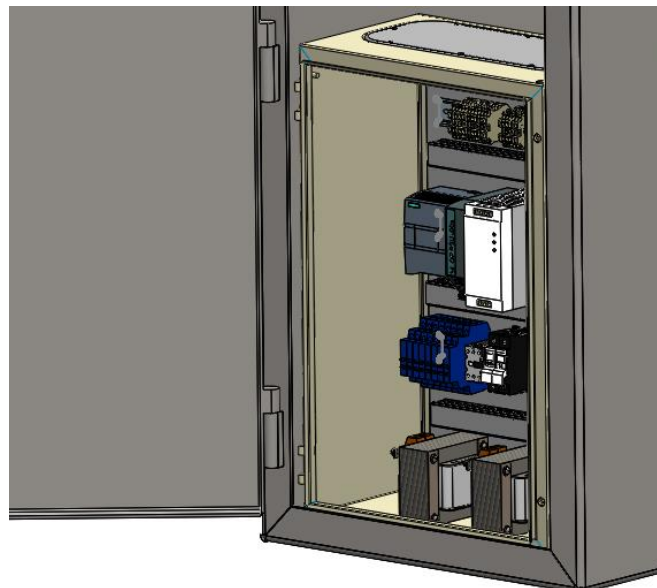


Figura 113. Instalación de GAB-2 en la máquina (elaboración propia).

3.1.14 Diagramas de conexión

Los diagramas de conexión son aquellos que permiten conocer la ubicación e interacción entre los dispositivos de mando y control del sistema, éstos nos ayudan a realizar las conexiones físicas entre los componentes dentro de cada tablero, de modo que se tenga una base con la cual podemos identificar la relación que tiene un componente con otro. A continuación, se presenta la propuesta de las conexiones de ambos tableros para el sistema de control y la automatización de una máquina de envasado de cacahuates.

3.1.14.1 Diagrama de conexión para alimentación

En este diagrama se muestra la conexión de los elementos que proporcionan suministro eléctrico a los diferentes dispositivos, tanto de corriente directa como de corriente alterna, entre ellos se encuentran la fuente de alimentación de 24 volts con 2.5 amperes de salida para el PLC y la HMI, la fuente de alimentación de 24 volts y 10 amperes de salida para los motores de sellado, arrastre y ajuste volumétrico, así como los sensores presentes, el transformador de 12 volts para el calentamiento de las resistencias y la alimentación en la parte fuerza del motor de corriente alterna a 120 volts. La figura 114, muestra la conexión de estos elementos a la línea de suministro eléctrico.

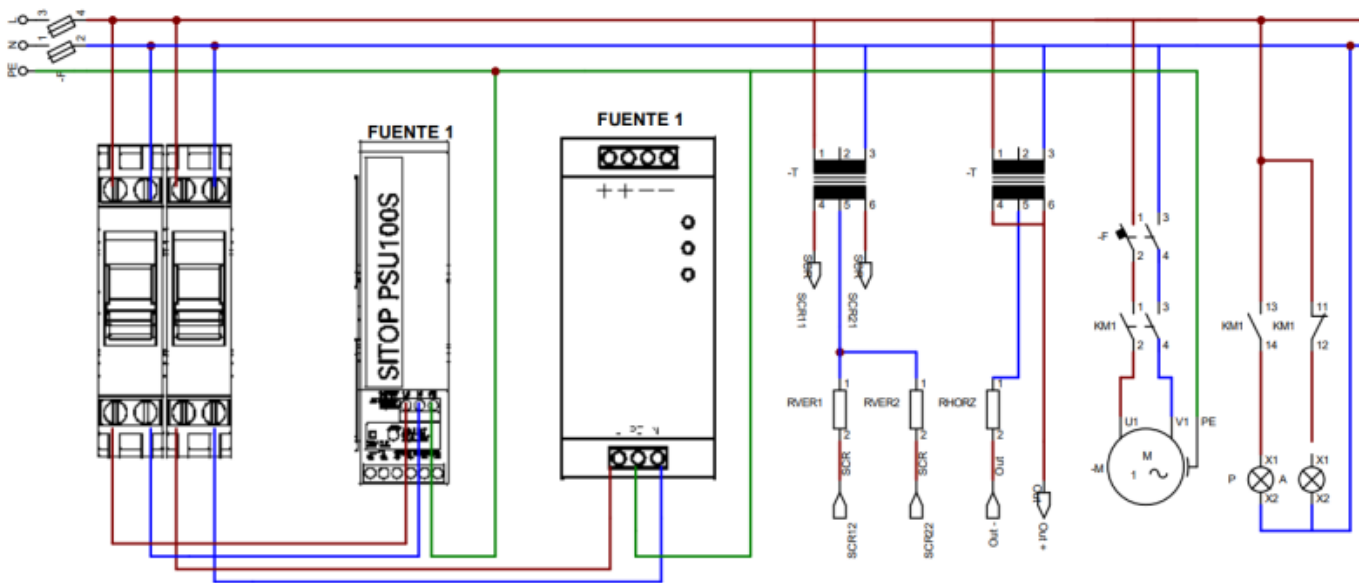


Figura 114. Conexión de los suministros de alimentación (elaboración propia).

Con el diagrama de suministro eléctrico es posible identificar en los demás tableros la proveniencia de la energía eléctrica de modo que se especifique de que fuente de alimentación se energizan los elementos, donde además se observa la entrada de control a las resistencias de sellado las cuales provienen para el caso de las resistencias verticales de las señales enviadas por el PLC a los relevadores de estado sólido y en el caso de la resistencia horizontal la señal enviada por el pirómetro.

3.1.14.2 Diagrama de conexión para GAB-1

Para el gabinete 1 se tienen que de este salen 3 señales de pulsadores, arranque, paro y paro de emergencia, mientras que en las entradas se tienen 6 luces piloto que son, el paro y arranque a 120 volts de corriente alterna y cuatro a 24 volts de corriente directa, dos para nivel de la tolva y dos para el material de envasado, además se tienen dos terminales de alimentación una para la HMI a 24 volts de corriente directa y otra para el pirómetro de 120 volts de corriente alterna, todas estas señales se colocan sobre clemas de conexión, cada una de ellas debe contar con un tag para la conexión con el gabinete 2; la figura 115, muestra el diagrama de conexión dentro del gabinete 1.

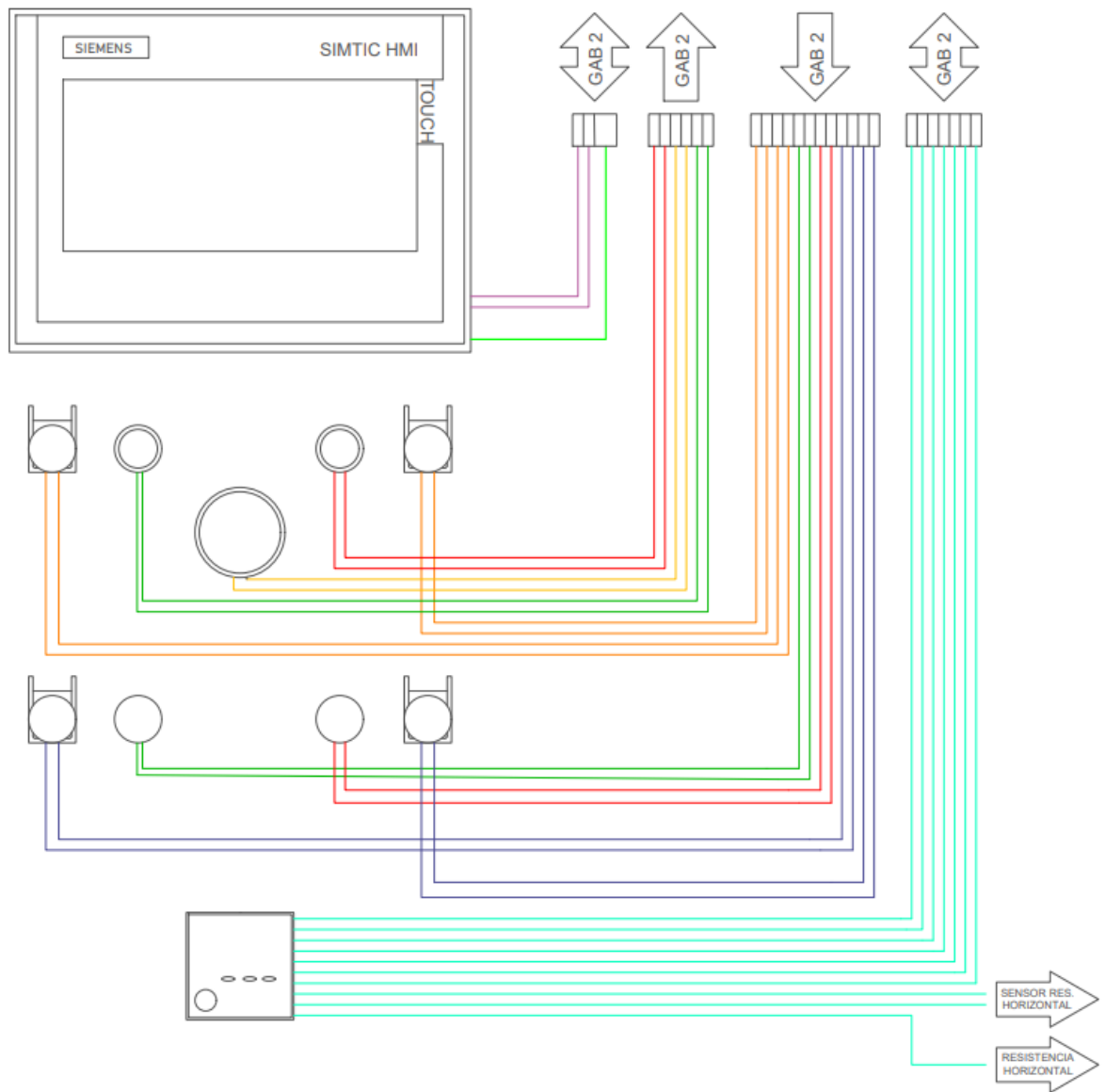


Figura 115. Diagrama de conexión del tablero 1 (elaboración propia).

Para el controlador de temperatura se tienen 4 señales, 2 de salida digital, una para indicar el ajuste de la temperatura y otra para sobrecalentamiento en la resistencia que son las que van al PLC, la otra salida es a tren de pulsos que va a la resistencia de sellado conectado a un transformador en el gabinete 2 para la parte de potencia, mientras que a la entrada se encuentra una señal análoga que es la lectura de la termocupla en la resistencia de sellado, con base al diagrama de bornes proporcionado por el fabricante las conexiones de este controlador, se muestran en la figura 116.

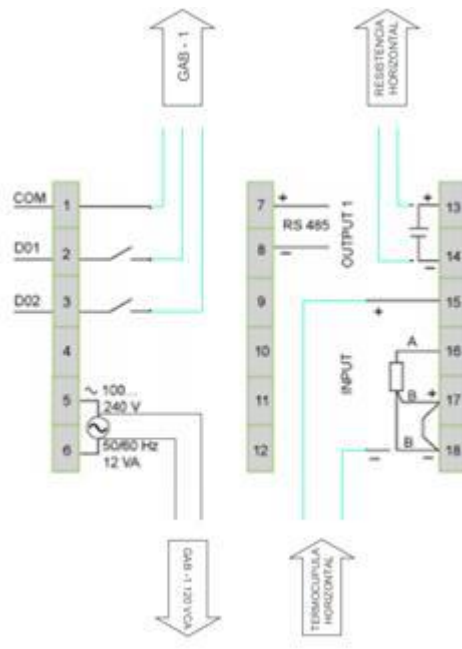


Figura 116. Conexión de terminales del controlador de temperatura (elaboración propia).

A la conexión de los elementos se les asigna un tag que permita realizar la conexión con los elementos del gabinete 2; la figura 117, muestra la relación de los elementos entre los gabinetes, colocando una identificación con los elementos que hacen conexión en el gabinete 1.

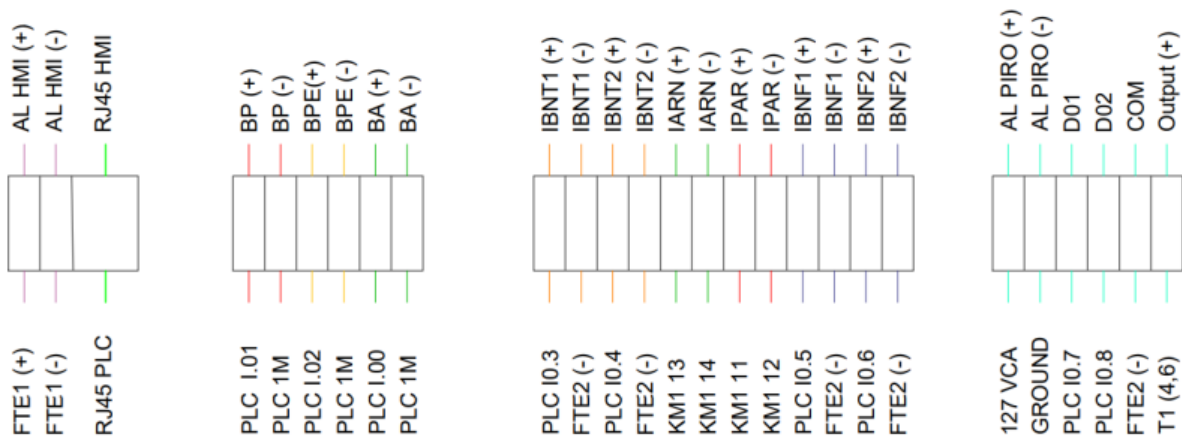


Figura 117. Listado de etiquetas de conexión entre tableros 1 y 2 (elaboración propia).

La tabla 16, muestra el nombre de cada dispositivo con respecto a su tag, para identificar las conexiones entre el gabinete 1 y el gabinete 2.

Descripción de etiquetas del tablero de conexiones 1 y 2			
GAB-1		GAB-2	
Tag	Descripción	Tag	Elemento
AL HMI (+)	Alimentación HMI positiva	FTE1 (+)	Fuente de alimentación 1 positivo
AL HMI (-)	Alimentación HMI negativo	FTE1 (-)	Fuente de alimentación 1 negativo
RJ45 HMI	Puerto de comunicación HMI	RJ45 PLC	Puerto de comunicación PLC
BP (+)	Botón de paro positivo	PLC I.01	Entrada puerto PLC I.01
BP (-)	Botón paro negativo	PLCM	Entrada al puerto PLCM 1M
BPE (+)	Botón paro emergencia positivo	PLC I.02	Entrada al puerto PLC I.02
BPE (-)	Botón paro emergencia negativo	PLCM	Entrada al puerto PLCM 1M
BA (+)	Botón de arranque positivo	PLC I.00	Entrada al puerto PLC I.00
BA (-)	Botón de arranque negativo	PLCM	Entrada al puerto PLCM 1M
IBNT1 (+)	Indicador bajo nivel tolva 1 positivo	PLC I.03	Entrada al puerto PLC I.03
IBNT1 (-)	Indicador bajo nivel tolva 1 negativo	FTE2 (-)	Fuente de alimentación 2 negativo
IBNT2 (+)	Indicador bajo nivel tolva 2 positivo	PLC I.04	Entrada al puerto PLC I.04
IBNT2 (-)	Indicador bajo nivel tolva 2 negativo	FTE2 (-)	Fuente de alimentación 2 negativo
IBNF1 (+)	Indicador bajo nivel film 1 positivo	PLC I.05	Entrada al puerto PLC I.05
IBNF1 (-)	Indicador bajo nivel film 1 negativo	FT2 (-)	Fuente de alimentación 2 negativo
IBNF2 (+)	Indicador bajo nivel film 2 positivo	PLC I.06	Entrada al puerto PLC I.06
IBNF2 (-)	Indicador bajo nivel film 2 negativo	FTE2 (-)	Fuente de alimentación 2 negativo
AL PIRO (+)	Alimentación pirómetro positiva	127 VCA	Línea de 127 volts de corriente alterna
AL PIRO (-)	Alimentación pirómetro negativa	GROUND	Tierra
D01	Señal de alarma 1 pirómetro	PLC I.07	Entrada al puerto PLC I.07
D02	Señal de alarma 2 pirómetro	PLC I.08	Entrada al puerto PLC I.08
COM	Común señales de alarma	FTE2 (-)	Fuente de alimentación 2 negativo
Output (+)	Salida relé estado sólido pirómetro	T1 (4,6)	Transformador 1 terminales 4 y 6

Tabla 16. Descripción de etiquetas del tablero de conexiones 1 y 2 (elaboración propia).

De esta forma es posible identificar las conexiones que se llevan a cabo entre ambos gabinetes y con ello tener una organización al momento de realizar las conexiones físicas, y facilitar el mantenimiento o modificaciones en tiempos futuros.

3.1.14.3 Diagrama de conexión GAB - 2

En el gabinete 2, se encuentran las conexiones del gabinete 1, el controlador del sistema, los dispositivos de conmutación y potencia para los actuadores presentes, así como la alimentación de todos los elementos eléctricos, con los tags mencionados las conexiones del gabinete 1, se identifican todos los elementos conectados al PLC, en este se tienen 3 señales de los pulsadores de arranque, paro y paro de emergencia, 4 señales digitales que constan de los sensores de nivel bajo en la sección uno y dos de la tolva, así como los sensores de bajo *film* de la línea uno y dos de la máquina, 2 entradas más para los valores de temperatura ajustada y sobrecalentamiento en la resistencia dos del pirómetro, y por último se tiene dos señales de entrada análogas que provienen de las sondas de temperatura del sellador vertical.

A las salidas se tienen 4 salidas a tren de pulsos (PWM) de rápido conteo 2 para los mecanismos de arrastre y 2 para los pulsos que controlan la temperatura en los selladores verticales, estas señales de conmutación se llevan a cabo por relés de estado sólido.

Una salida de 24 volts de corriente directa para la bobina que energiza el motor de corriente alterna del sistema de dosificación, dos salidas más para los sistemas de sellado que igual se conmutan con un relé donde menor o igual que 5 volts de corriente continua equivale a un cero lógico y con mayor o igual a 15 equivale a un uno lógico, y para los motores de ajuste volumétrico se tiene 3 señales de activación al módulo L298N una para activar cada motor y la tercera para la inversión de giro del *reset* de ajuste.

En este diagrama también se observa la llegada de las señales de los pulsadores del gabinete 1 y las señales del controlador de temperatura, además se observa la salida a los indicadores de bajo nivel de producto y *film* de ambas secciones, así como la de los indicadores de arranque y paro del motor en el gabinete 1. La figura 118, muestra el diagrama de conexión del tablero número 2.

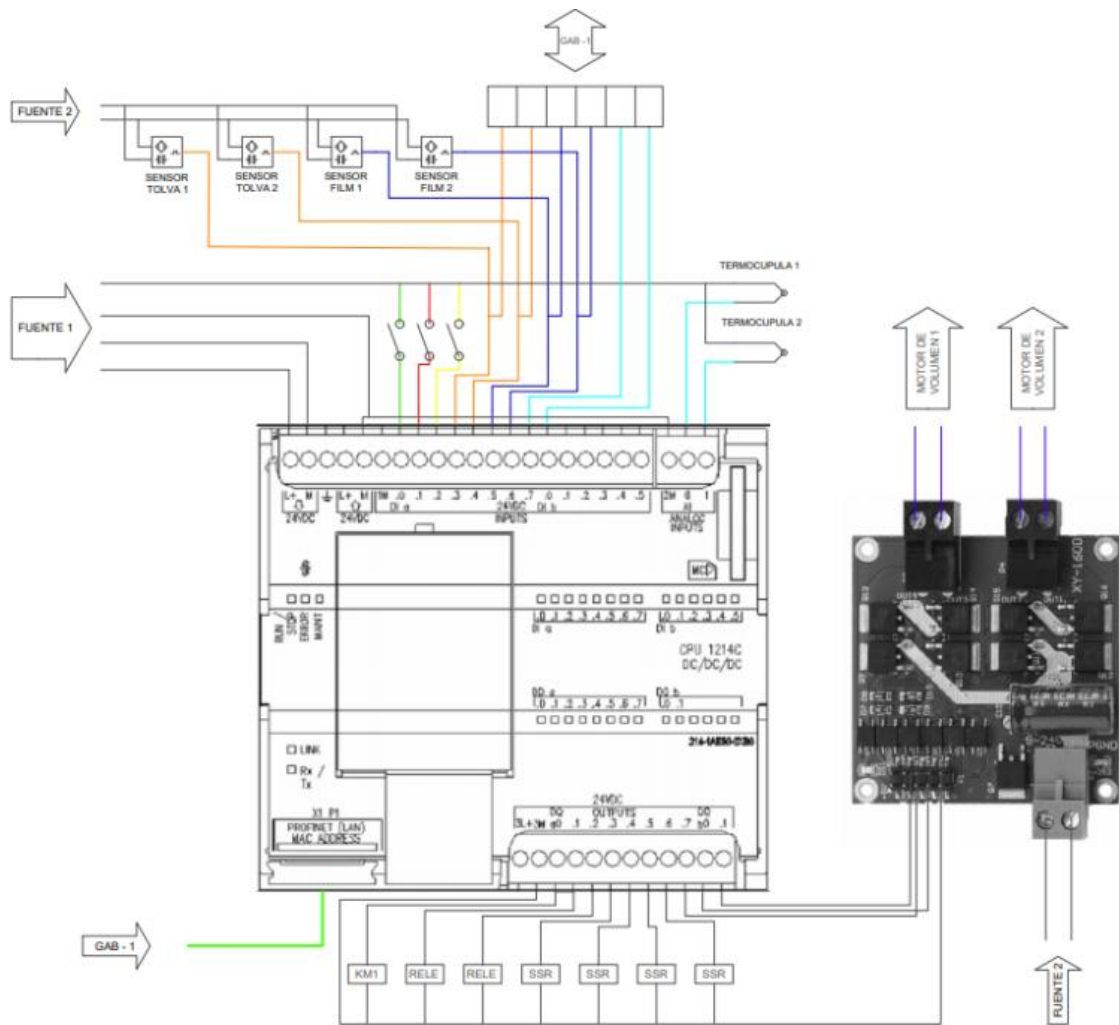


Figura 118. Diagrama de conexiones en el PLC (elaboración propia).

En la última salida activa el puente H para los motores de ajuste volumétrico del sistema dosificador, esto debido a que el ajuste del volumen se lleva a cabo en un sólo sentido, de esta forma al invertir la polaridad el mecanismo, vuelve al volumen máximo, para posteriormente reducir o mantener el volumen de la nueva cantidad seleccionada, como se muestra en la figura 119.

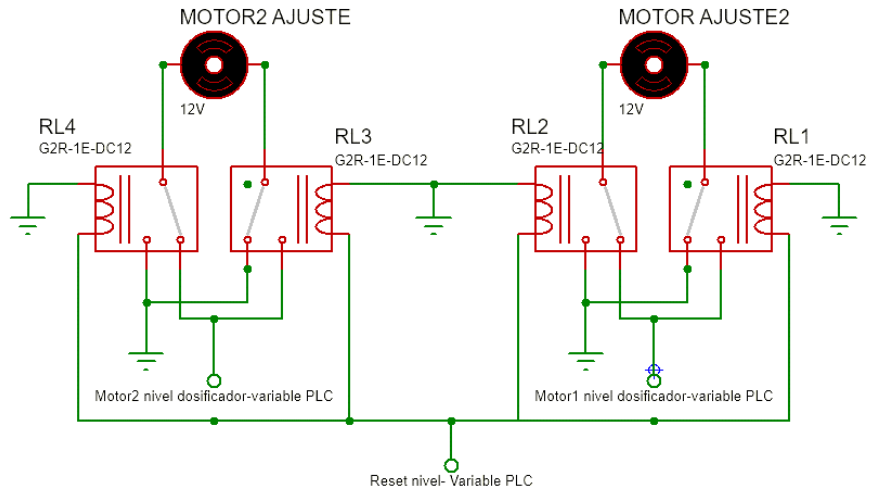


Figura 119. Diagrama simplificado de puente H de reseteo para motores de ajuste volumétrico (elaboración propia).

Los componentes restantes en el gabinete constan de elementos de alimentación, los elementos de protección y los dispositivos de conmutación para los actuadores, la conexión del PLC con estos componentes activa la parte de potencia que permiten a los motores presentes en el sistema ser activados de manera correcta, en relación con la tensión y corriente de consumo de cada uno de ellos; la figura 120, muestra el diagrama general de conexiones dentro del gabinete 2.

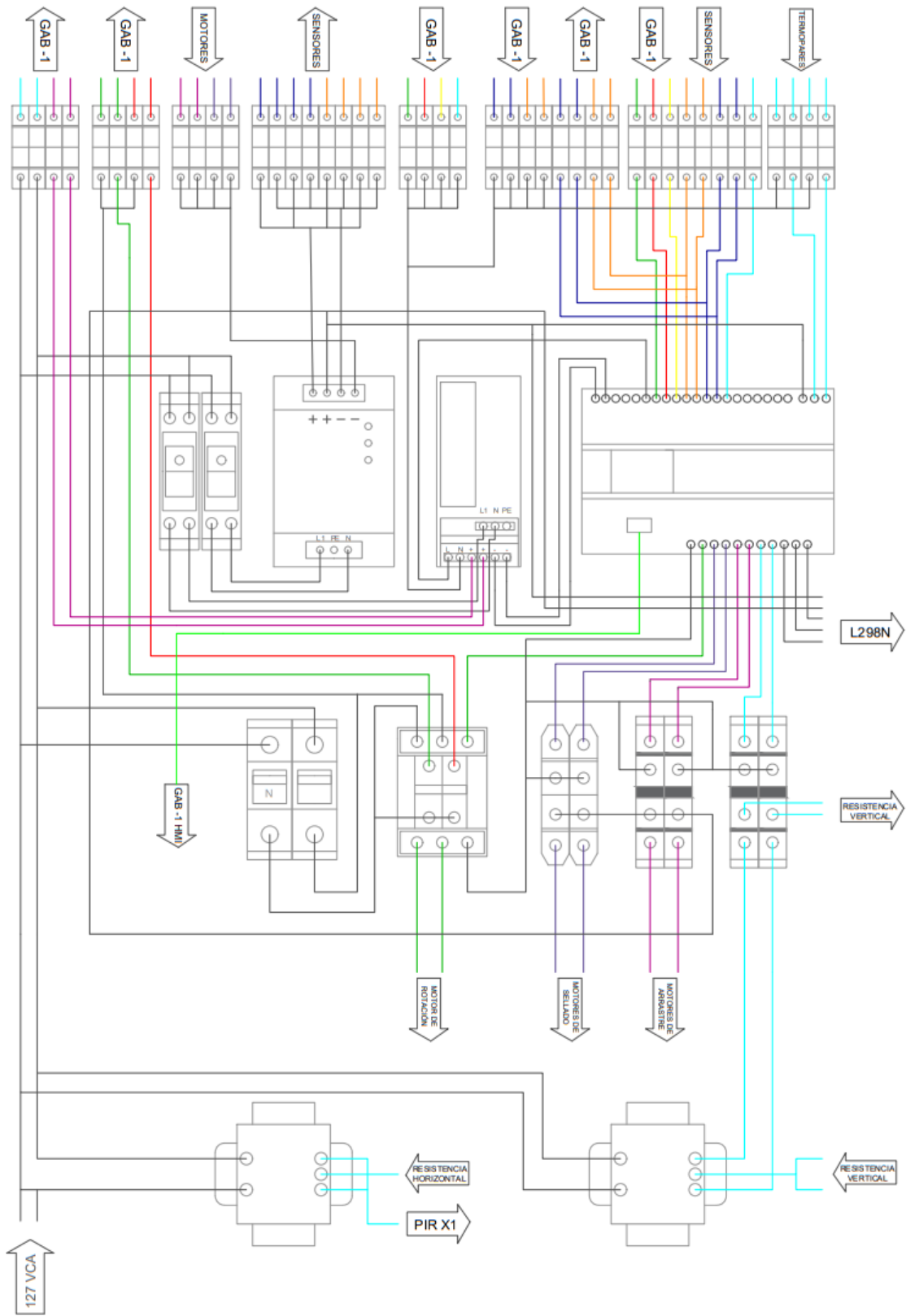


Figura 120. Diagrama de conexión gabinete 2 (elaboración propia).

Con la selección de los dispositivos de mando y control se cumple el objetivo de diseñar una serie de mecanismo que, en conjunto a la implementación de motores eléctricos, se logra obtener los accionamientos necesarios, así como su respectiva ubicación dentro de los gabinetes lo que satisface la propuesta de diseñar un sistema de control con dispositivos eléctricos de control y automatización; con el análisis que se realizó para el movimiento de los mecanismos se logra la conexión que se creó entre ellos a través de los diagramas correspondientes, por lo que ahora es indispensable crear una lógica que permita a estos mecanismos responder como debe ser. A continuación, se presenta la ingeniería de software para la generación de las instrucciones encargadas de sincronizar los diferentes subsistemas con los que cuenta el proceso.

3.2 Ingeniería a nivel software

En este apartado se presentan las consideraciones a nivel de software necesarias para poder manipular y controlar las variables necesarias para el funcionamiento propuesto. Así mismo, se diseñará el programa, el cual debe de coordinar y ejecutar las operaciones matemáticas requeridas para lograr cumplir los objetivos propuestos.

El presente capítulo expone mediante el uso de imágenes e ilustraciones, los pasos que sigue el programa diseñado para el presente proyecto dentro del PLC; así como se explica paso a paso la lógica operativa del mismo.

3.2.1 Configuración del PLC para la máquina empacadora de cacahuates

El primer paso fue proponer el PLC, este controlador es el modelo SIMATIC S7-1200 CPU 1214C de la marca Siemens, de conexiones DC/DC/DC, con interfaz Profinet y versión 4.0 o mayor, lo anterior se hizo debido a que el programa TIA Portal, únicamente es capaz de simular proyectos cuya versión sea 4.0 o superior. En la figura 121, se muestra la interfaz de selección. Así mismo, se procedió a configurar en el entorno del Programa TIA Portal de *Siemens*, los datos necesarios ya mencionados para la programación y puesta a punto del dispositivo.

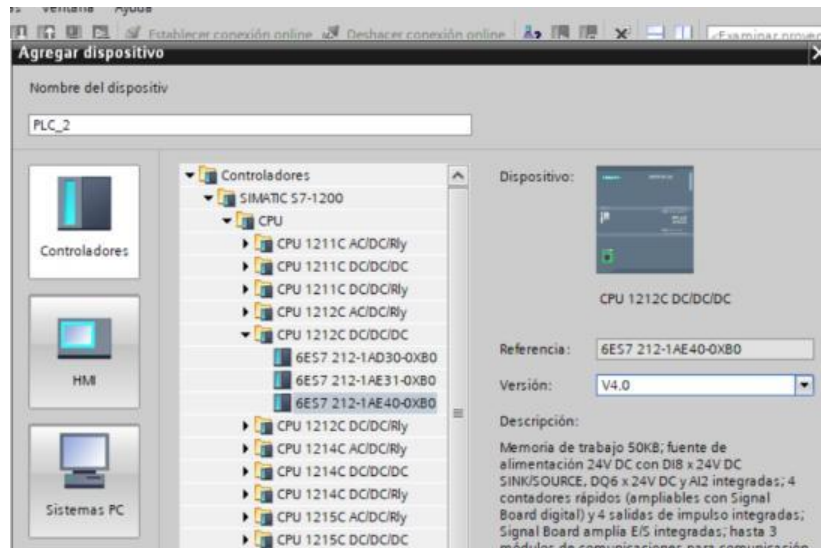


Figura 121. Selección del PLC y la versión que será programada (elaboración propia).

Posteriormente se agregó la HMI KTP 700 e interfaz Profinet, que de igual manera puede ser configurada mediante TIA Portal, como se muestra en la figura 122.

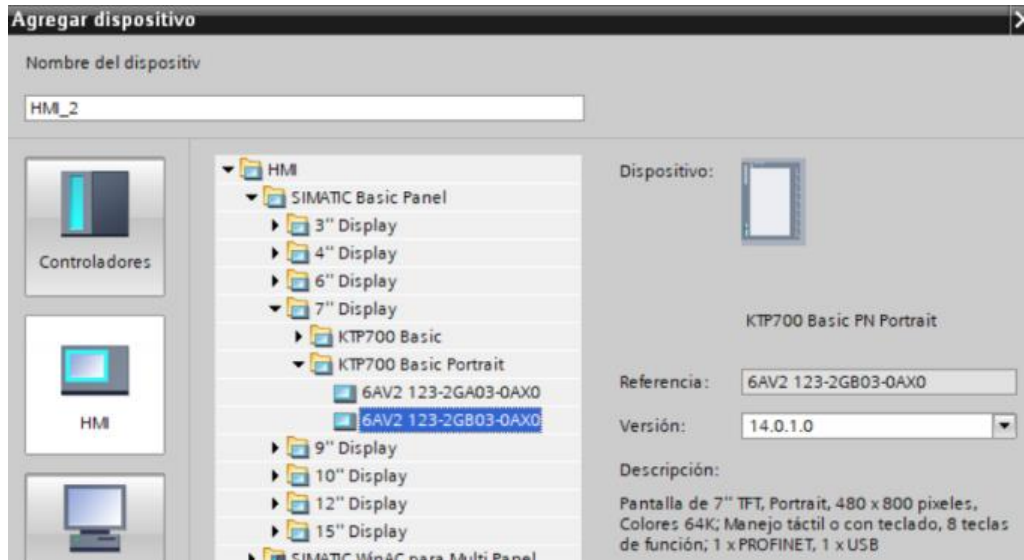


Figura 122. Selección de la HMI (elaboración propia).

Se estableció el link de comunicaciones para poder hacer la interfaz humano-máquina, como se ve en la figura 123, este paso es en parte esencial pues de no hacerse, aún si todo

el programa estuviera completo no sería posible comunicarnos con el dispositivo de manera óptima.

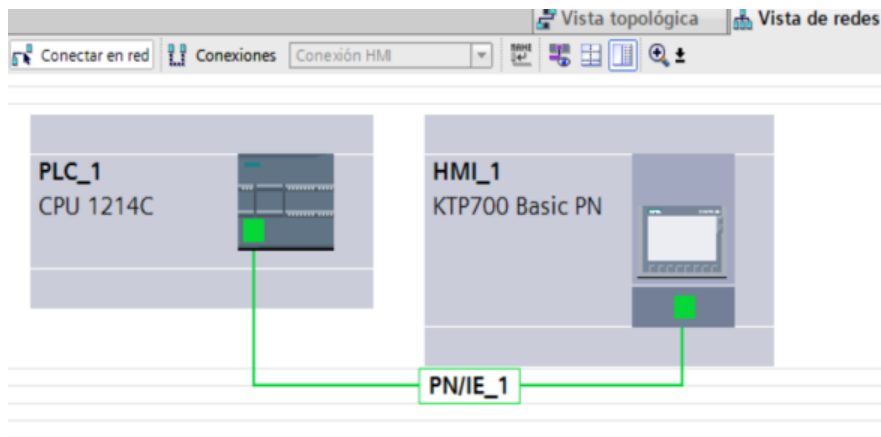


Figura 123. Creando el vínculo Profinet entre el PLC y la HMI (elaboración propia).

Se configuraron las salidas de tipo PWM, para el control de los motores de arrastre, este paso se realizó incluso antes de iniciar el programa, pues es necesario para controlar la velocidad de los motores de arrastre, los cuales están encargados de controlar el tamaño de la bolsa de empaque. La figura 124, muestra el modo de configuración de estas salidas.

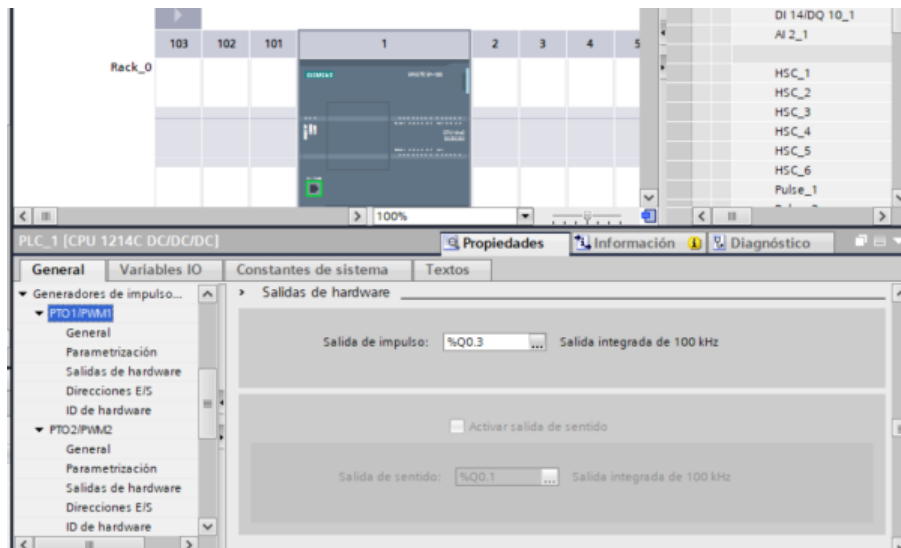


Figura 124. Configuración de salida de impulso en PWM (elaboración propia).

Para terminar con la puesta a punto del PLC, se definieron las entradas y salidas del dispositivo por medio de la tabla de variables, para verificar que estén correctamente definidas se puede utilizar el zoom en la sección de dispositivos y redes, dentro del programa de TIA Portal, si está correctamente definida el PLC la mostrará sobre de sí. La figura 125, muestra las variables correctamente configuradas y variables mal configuradas.



Figura 125. Configuración de variables en PLC (elaboración propia).

Finalmente, para comenzar el programa se necesita analizar el diagrama de funcionamiento del proceso presente en la figura 126, este diagrama nos dicta los pasos que efectúa la máquina para realizar el proceso de sellado y empaclado de cacahuate, analizando el mismo podemos identificar 3 entradas externas al sistema, la primera sería el operador, el cual ingresa los valores de operación de la máquina. La segunda, el film plástico el cual necesitará un sensor para poder medir la cantidad de film restante, y la tercera entrada es del producto, es decir los cacahuates, que a si mismo necesitará un sensor para determinar el volumen restante en la tolva y se requiere de un par de sensores más para medir las temperaturas de los selladores.

Se puede observar, como los movimientos efectuados por la máquina son todos realizados por motores individuales, facilitando el funcionamiento mecánico y haciendo una división

práctica de las funciones del PLC para su automatización, el cual, controlará como se observa; los *relays* de los motores de dosificación, de arrastre y de las selladoras, así como los motores de ajuste con el puente H mencionado.

Terminando de analizar el diagrama funcional del proceso se procede a la propuesta de programa.

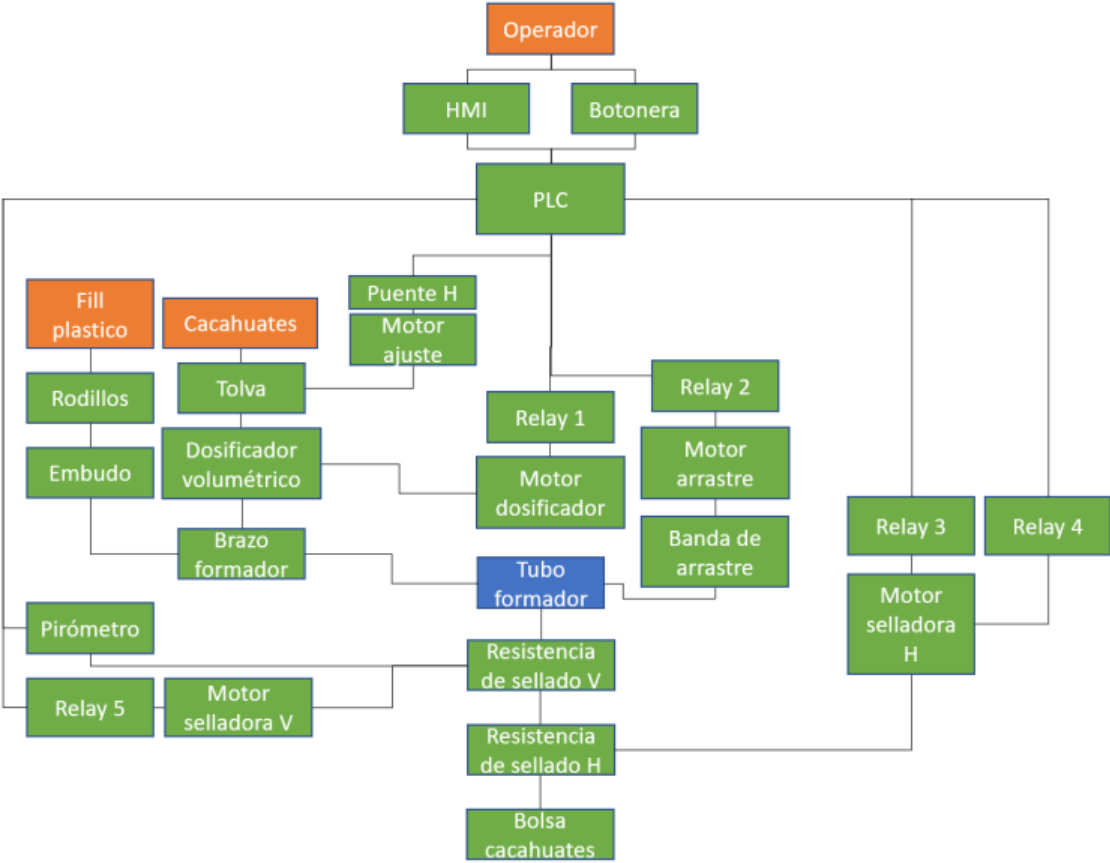


Figura 126. Diagrama funcional de proceso (elaboración propia).

3.2.2 Propuesta de programa secuencial para el sistema de empackado

Para la propuesta del programa se elaboró un *grafcet*, o diagrama de control con etapas y transiciones que se muestra en la figura 127, basándose en el diagrama funcional de proceso, en este se observa un esquema de 11 fases o segmentos donde algunos de éstos tienen funciones en paralelo y otras secuenciadas, pero estando diferenciadas una de otra.

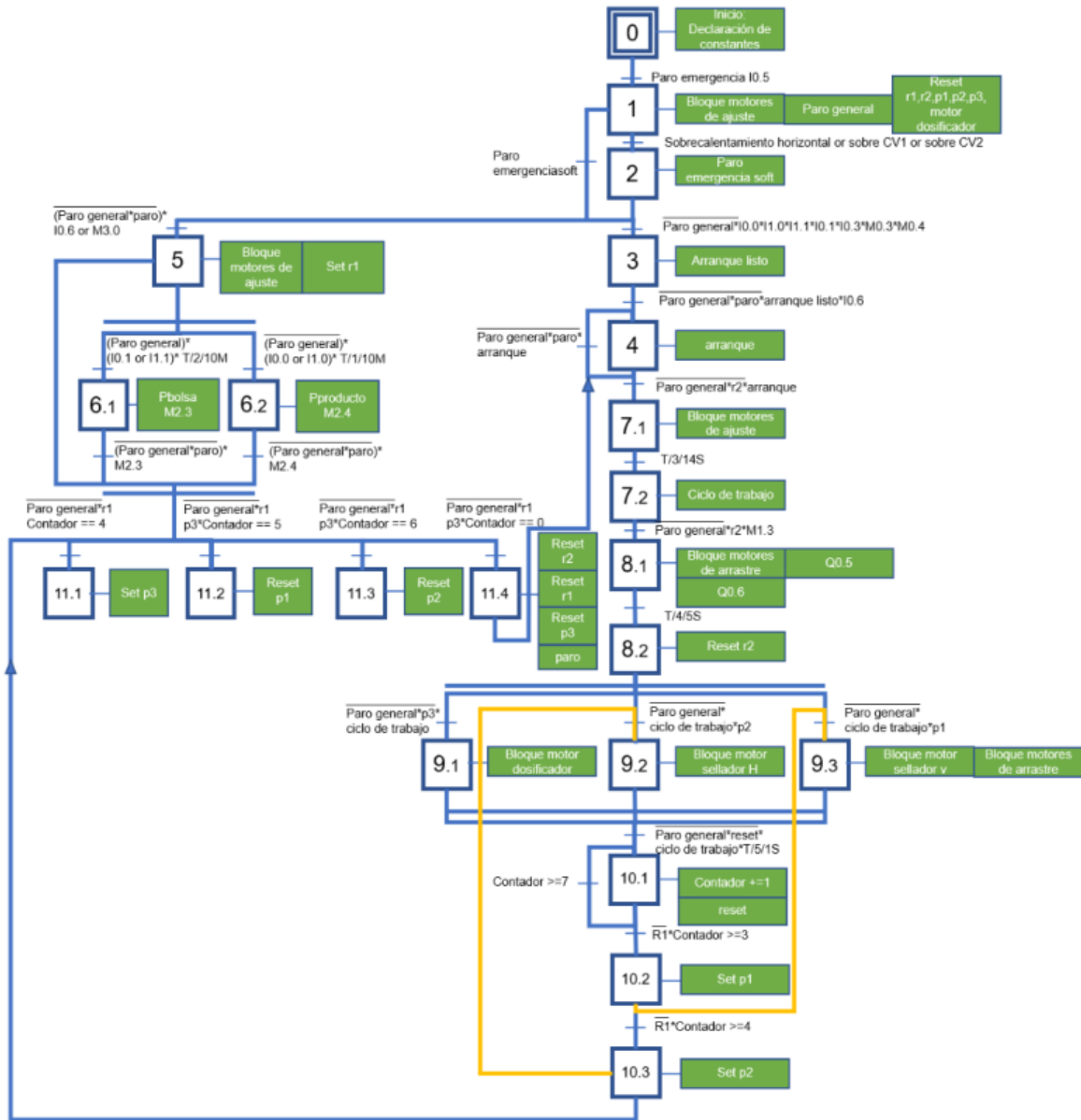


Figura 127. Grafcet del programa propuesto (elaboración propia).

Para la programación de esta máquina, se propone la implementación de un programa en escalera compuesto de 9 bloques, como se muestra en la figura 128, siendo el bloque principal *main*, un bloque de arranque denominado *startup*, que inicia la máquina con unos valores predeterminados y 7 subrutinas de control, cada una de las cuales controla un aspecto de la máquina. Estas subrutinas son del tipo FC, para facilitar la limpieza de datos en la memoria interna del PLC, así como la manipulación independiente de cada sistema.

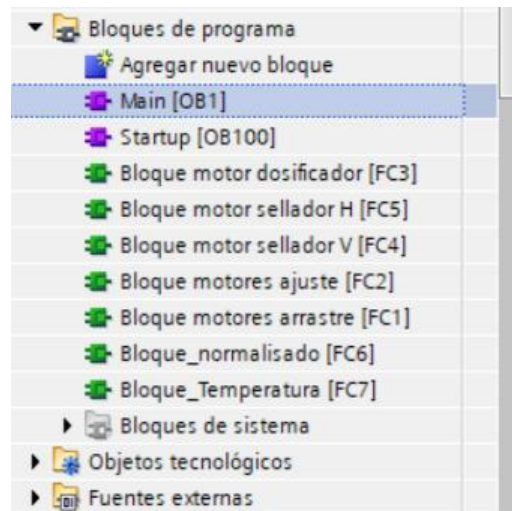


Figura 128. Bloques del programa (elaboración propia)

Para comenzar, se presenta el análisis de la propuesta de diseño en el bloque *main*, el bloque *main* es un bloque cíclico, es decir, se repite constantemente actualizado los valores del programa según se vayan modificando. Este bloque consta de 11 segmentos, a continuación, se explica el funcionamiento de cada bloque de forma independiente y coherente.

Como se sabe en todo proyecto de ingeniería, la seguridad del personal operativo como de la maquinaria siempre está como prioridad número 1, por tanto, el primer segmento sirve para determinar si la máquina entrará en modo de paro de emergencia, para lo cual existen 2 tipos de paros de emergencia, uno siendo activado por el usuario directamente con la entrada *%I0.5* y otro generado por un fallo o efecto no deseado dentro de la operación.

Este segmento en la figura 129, no abarca cuestiones como la sobrecarga de corriente o fallos internos del PLC, puesto que el PLC ya cuenta con un sistema de fallo interno y se para automáticamente; esta variable se activa cuando exista una condición que, de no parar, puede ocasionar daño al equipo, para lo cual está definida la localidad de memoria *%M0.1*.

Una vez determinado que la máquina entrará en modo de paro general, el programa procede a reiniciar todas las variables que se enclavan durante el arranque del sistema, esto asegura que la máquina pare sea cual sea la acción que esté efectuando, estas

variables son: *r2* %M2.6 subrutina de cambio de tira plástica, *r1* %M2.5 subrutina de paro secuenciado, enclave del motor dosificador %Q0.0 y las variables de secuencia p1, p2, p3, así mismo, procede al reposicionamiento de los motores de ajuste del dosificador regresando los a su posición inicial y finalmente efectúa el paro general.

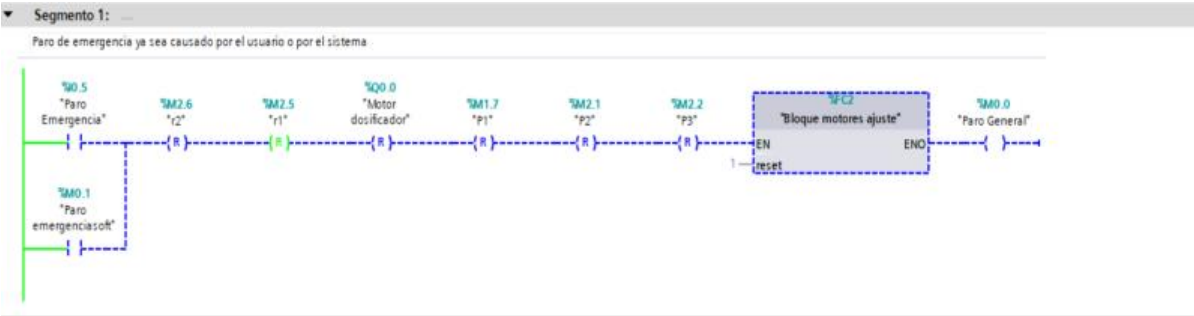


Figura 129.Segmento paro de emergencia (elaboración propia).

El segundo segmento en la figura 130, agrupa las condiciones que pueden derivar en un paro de emergencia generado por software, las cuales son básicamente el sobrecalentamiento de alguna de las resistencias, ya sean de sellado o corte, debido a que son las únicas fallas lo suficientemente graves como para dañar el equipo.

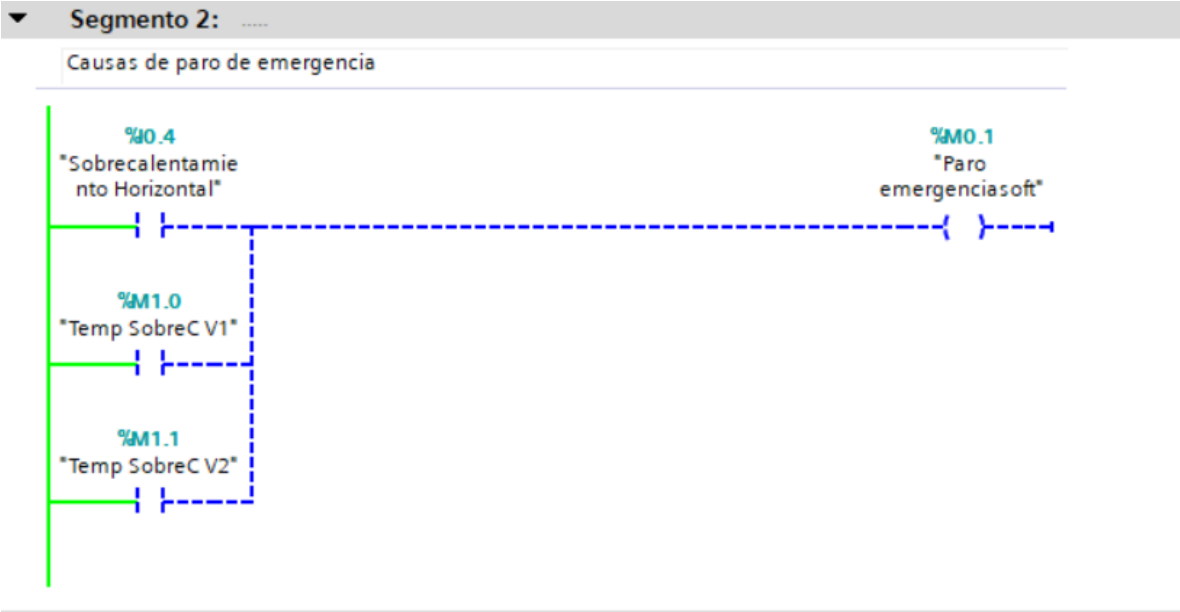


Figura 130. Segmento 2 paro por software (elaboración propia).

Una vez terminado con las fallas críticas, hay que considerar otro tipo de fallas, que pueden derivar en un mal funcionamiento, pero estas fallas al no ser críticas por no dañar el equipo o tener suficiente tiempo para una correcta previsión, se pueden controlar con un paro secuenciado o simplemente evitando el arranque del dispositivo, en este caso se opta por ambas opciones, para lo cual, antes de poder arrancar el dispositivo es necesario cumplir ciertas condiciones, las cuales son: que no exista falla grave, que el sensor de nivel del producto indique que efectivamente hay producto, que el sensor del rollo plástico indique que efectivamente está cargado el rollo en la máquina, así como que las temperaturas de las 3 resistencias estén bien ajustadas. Si todo lo anterior se cumple, entonces la máquina puede arrancar como se aprecia en la figura 131. Sin embargo, esto no indica que lo hará en ese momento, solo habilita la opción para que lo haga.

En este mismo apartado entra el bloque de normalizado, este bloque es una subrutina más que debería estar incluido en el programa *main*, sin embargo, por su extensión se optó por dejarlo en un bloque independiente, ya que ralentizaba la carga del programa, así que esto fue una opción de optimización de recursos.

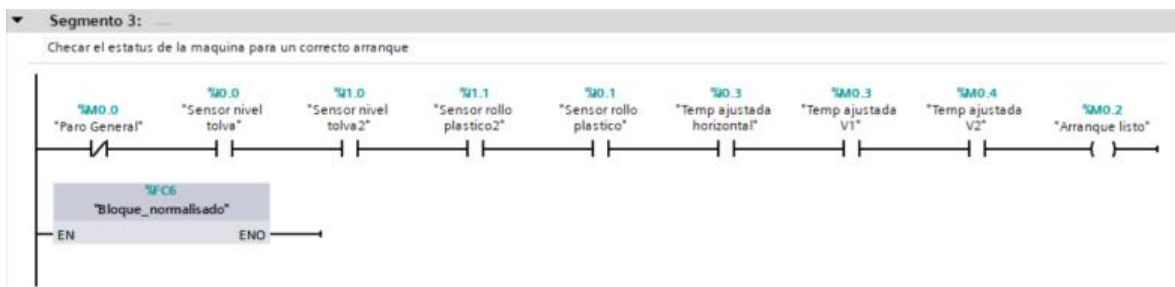


Figura 131. Segmento 3 revisión de las condiciones de arranque (elaboración propia).

El cuarto segmento es el enclave del arranque, en la figura 132 se aprecia el mismo, este arranque puede ser detenido ya sea por el paro de emergencia *%M0.0*, o por el paro secuenciado *%M0.7*, pero no puede ser detenido directamente si alguna de las opciones del bloque anterior se deja de cumplir, pues se considera que el producto o la tira plástica puede estarse agotando por el mismo proceso y las temperaturas se están controlando en tiempo real. Para su activación el usuario puede hacer uso de la entrada *%I0.6* y de la entrada de la HMI *%M2.7*.

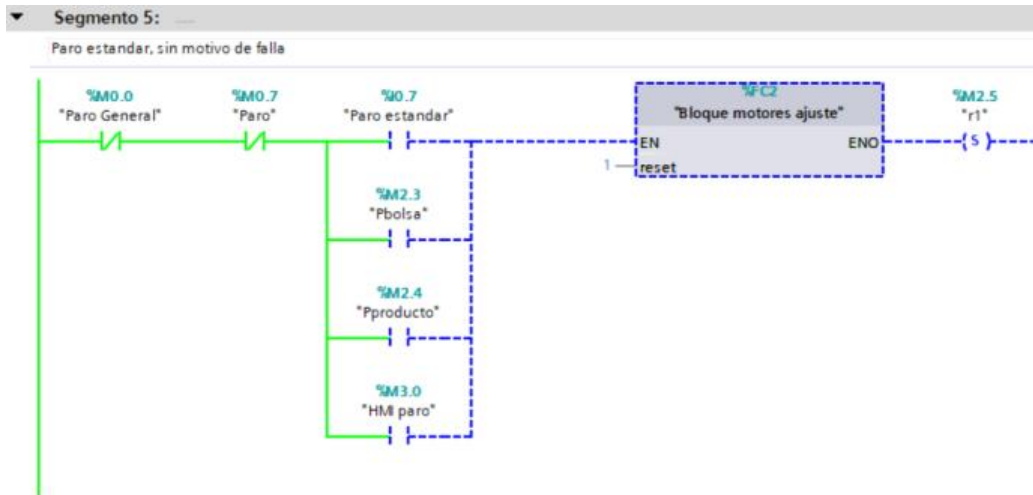


Figura 133. Segmento 5 enclave del paro estándar (elaboración propia).

Como protección adicional, en caso de que los sensores de bolsa o de producto detecten que se están agotando, éstos inician un contador de 10 minutos, lo cual da tiempo al usuario a rellenar la tolva, al finalizar el conteo, se activan las localidades de memoria %M2.3 o %M2.4, las cuales controlaban el enclave del paro en el segmento anterior. La figura 134 muestra este proceso.

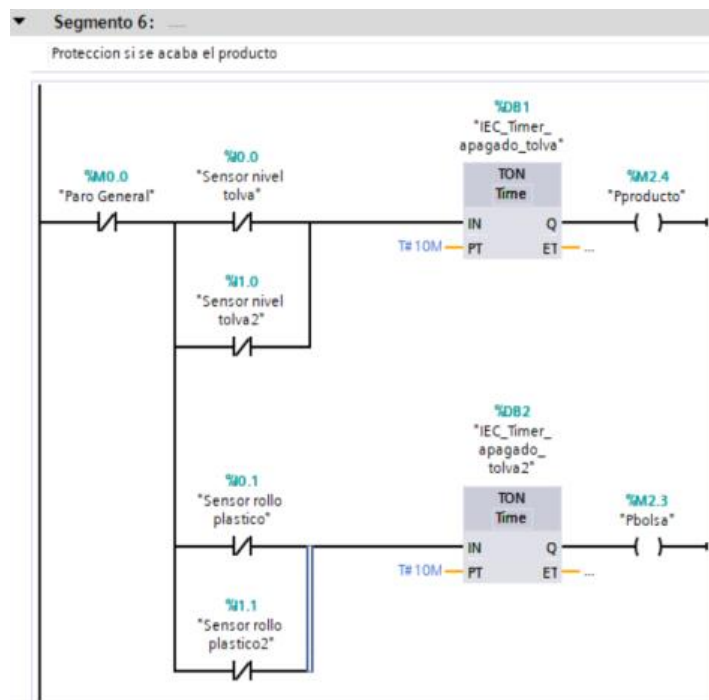


Figura 134. Segmento 6 protección cuando el nivel de producto o el film se active (elaboración propia).

Para el segmento número siete, en la figura 135, dejaremos a un lado la secuencia de paro, para continuar con el arranque de la máquina. Una vez que se ha determinado que la máquina arrancará por medio del segmento 4, hay que hacer una revisión final a una condicional la $r2 \%M2.6$, la cual nos indica si se está cargando la bolsa en ese momento, en cuyo caso, esperará a que termine la carga para continuar. Hecho esto, se activan los motores de ajuste volumétrico, que determinan el volumen del dosificador, para esto, se le brinda al programa de 14 segundos para la puesta a punto de dichos motores y procede a continuar con el ciclo de trabajo $\%M1.2$.

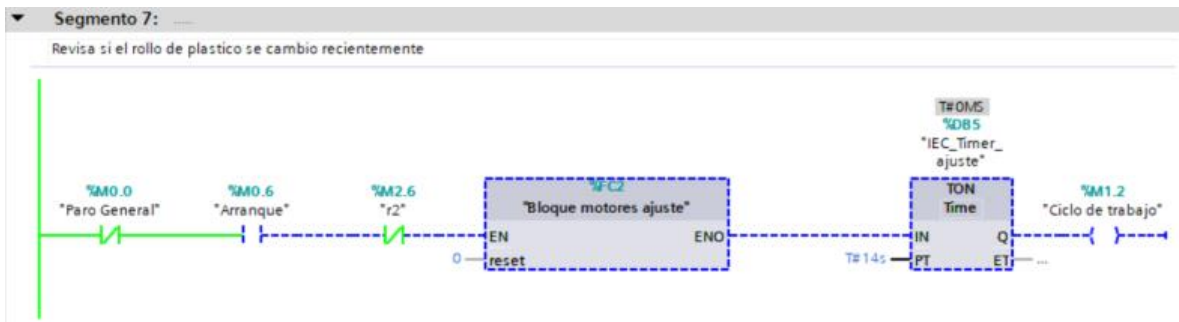


Figura 135. Segmento 7: revisión de proceso de cambio de rollo plástico y motores de ajuste en dosificador (elaboración propia).

El segmento número 8, en la figura 136, es la secuencia que efectúa el sistema para hacer la carga de la bolsa, es decir, se acaba de cambiar el rollo plástico y el usuario da la orden de un arranque limpio por medio de la localidad de memoria $r2 \%M2.6$. En este caso, se procede a colocar el volumen del dosificador al máximo, cuya medida es de 572 centímetros cúbicos, para asegurar el mayor arrastre de los motores, se proceden a activar los susodichos, así como los motores de las selladoras a máxima velocidad y se le da un tiempo de 5 segundos para alcanzar la posición deseada y se desactiva la localidad $r2\%M2.6$.

La localidad $\%M1.3$ ciclo de arranque, está controlada por la HMI y sirve para enviar la orden de cambio de bolsa desde la misma.

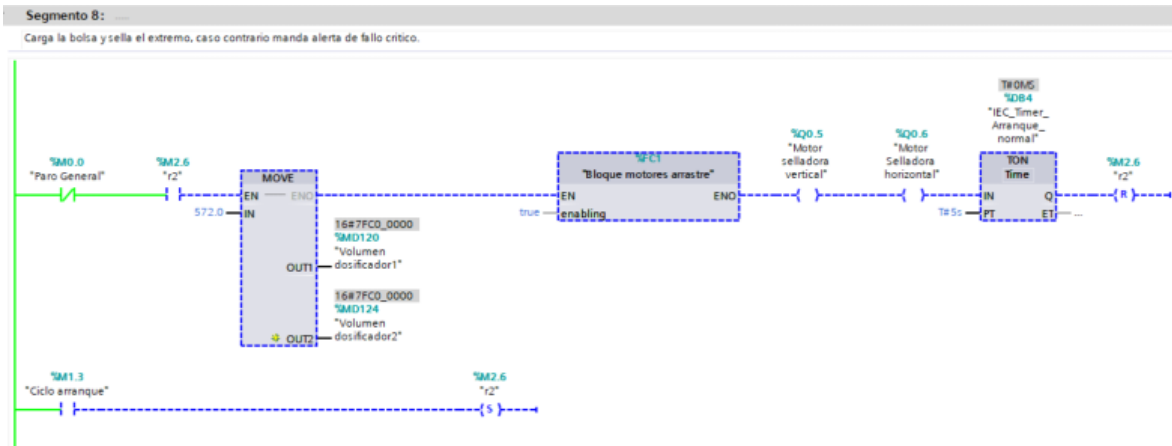


Figura 136. Segmento 8 secuencia de cambio de bolsa plástica (elaboración propia).

Finalmente, se llega al ciclo de funcionamiento, el segmento 9 en la figura 137. Ya que se ha enclavado la variable ciclo de trabajo, comienza la secuencia de operación de la máquina, iniciando con el encendido del motor del dosificador, posteriormente los de arrastre y sellado vertical y finalizando con el de sellado horizontal, para efectuar lo anteriormente dicho se utilizan las variables P1, P2 y P3.

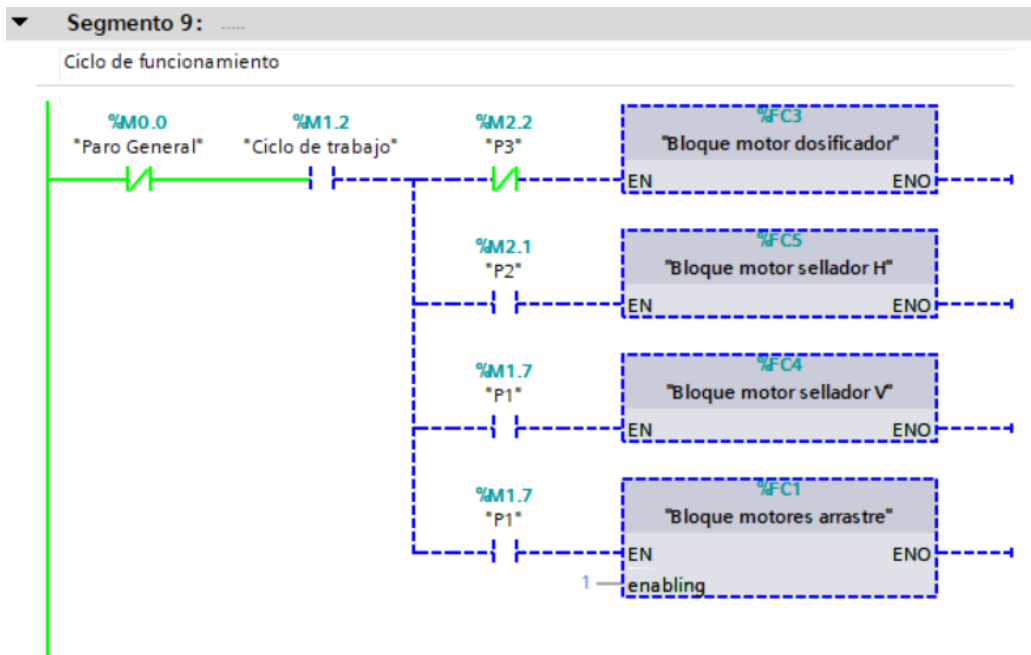


Figura 137. Segmento 9 ciclo de trabajo regular (elaboración propia).

El segmento número 10, es el que marca el ritmo de esta secuencia de trabajo, esto lo logra utilizando un contador de 1 segundo, pues la máquina está diseñada para producir una pieza por segundo por línea, cada segundo transcurrido incrementa el contador en 1 hasta llegar a 6 pues el dosificador únicamente tiene 6 ranuras, tras esto, se reinicia el contador gracias al comparador situado en su *reset*.

Por medio de otro comparador y revisando que no se encuentre en el ciclo inverso, es decir, en secuencia de paro, por medio de la variable $\%M2.5 r1$, se activa el motor de arrastre y de la selladora vertical, esto se hace tras esperar 3 segundos, pues se considera que si el llenado se efectúa en la ranura 1, esta tardará 3 ciclos en llegar al espacio número 4, donde se encuentra el tubo formador, como se muestra en la figura 138.

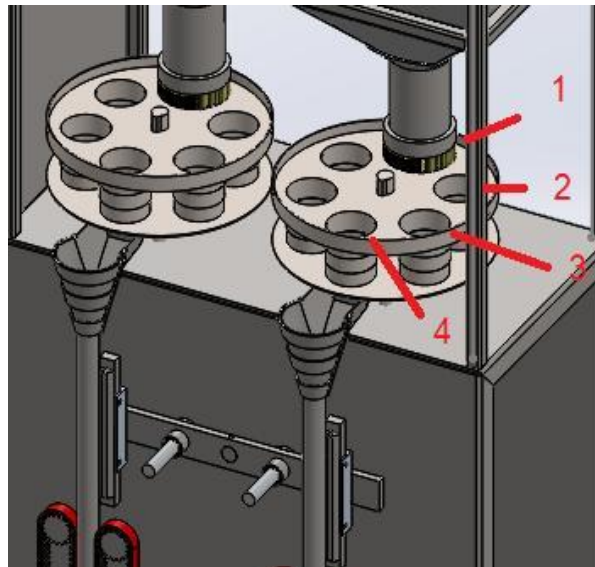


Figura 138. Se muestran los 4 ciclos que tarda en llegar de la tolva al tubo formador (elaboración propia).

Finalmente, como se muestra en la figura 139, gracias al último comparador, se enciende la selladora horizontal un segundo después, tras corroborar que la variable $\%M2.5 r1$ se encuentre inactiva.

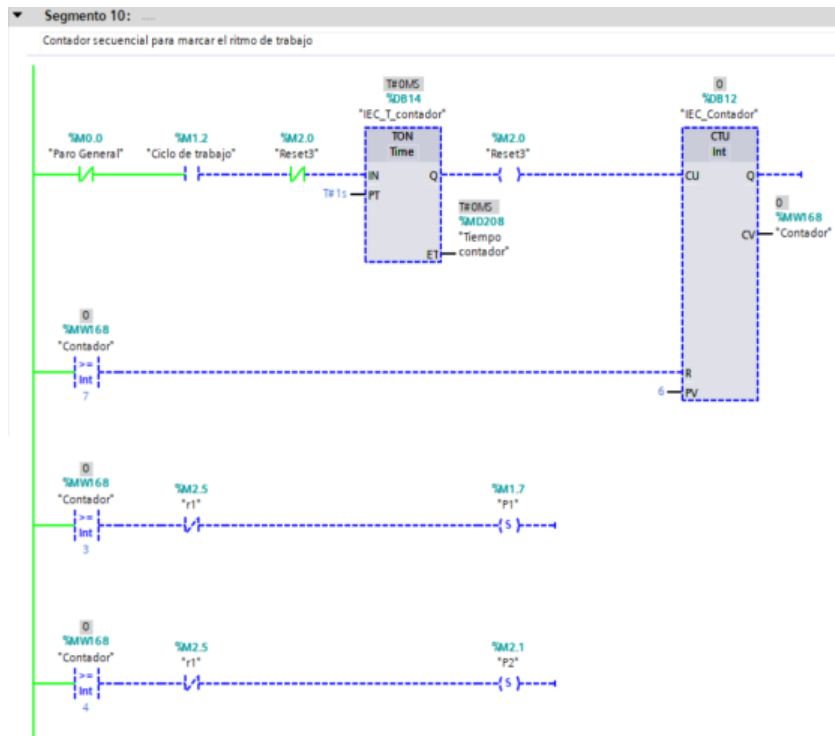


Figura 139. Segmento 10 contador secuencial que marca el ritmo de trabajo (elaboración propia).

Para terminar el bloque *main*, el segmento 11 es la secuenciación del paro progresivo, en la figura 140, esta se activa con el enclave $%M2.5$ r1 y utilizando el mismo contador de la secuencia de trabajo, este comienza con la desactivación progresiva, sin embargo, para asegurarse de que no se tome el ciclo en un momento arbitrario, se marca como comienzo la desactivación del motor del dosificador en el enclave del $%M2.2$ P3, y se usa el mismo como condicional para los subsecuentes paros, deteniendo así el arrastre y sellado vertical y finalizando con el sellado horizontal.

Una vez hecho esto, se reinicia la secuencia de paro con $%M2.5$ r1 y por si se encontraba en ejecución el cambio de bolsa, también se reinicia $%M2.6$ r2, se restaura $%M2.2$ P3 y entra en paro la maquina con $%M0.7$ deteniendo toda acción.

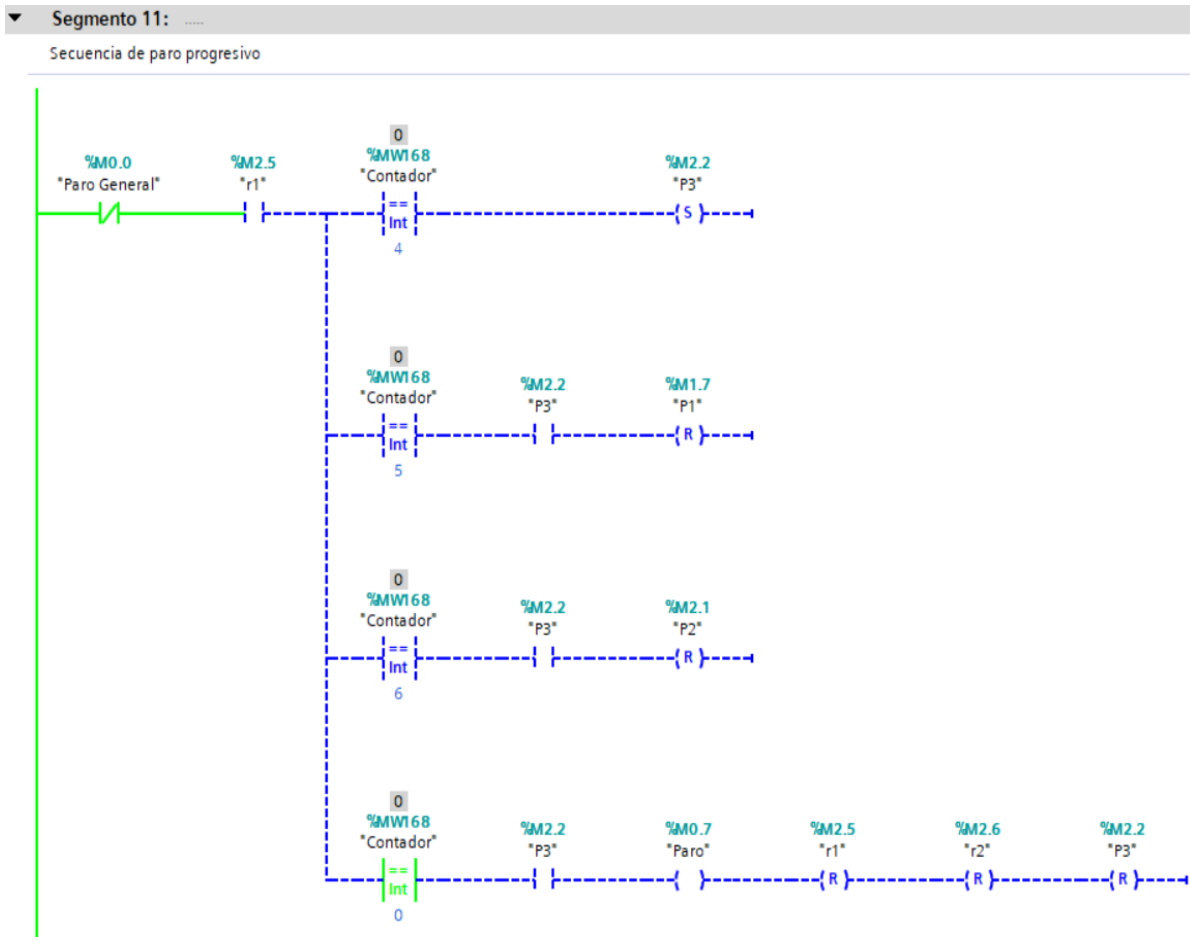


Figura 140. Segmento 11 secuencia de paro progresivo (elaboración propia).

3.2.2.1 Subrutina de normalizado

En esta sección se abordan los bloques, uno de los principales es el bloque de normalizado el cual es el corazón lógico del programa, este bloque efectúa todo el cálculo de requerido para ajustar todas las variables del programa, se le nombró bloque de normalizado, debido a que su principal función es normalizar y escalar los valores dados por el usuario, para esto se debe tener en cuenta que el operador maneja datos como los gramos y sistema maneja datos como volumen, por lo que hay que manipular las variables para hacer su respectiva conversión, normalización y escalamiento.

Este bloque consta de varios segmentos, y toda acción se debe recalcularse para ambas líneas de producción, ya que la máquina maneja dos líneas de producción, que pueden llevar si es necesario hasta 2 tipos de productos distintos.

Respecto al bloque de densidad-gramaje, en la figura 141, el programa consta al momento de 3 productos ya predefinidos, estos 3 tienen una densidad ya predefinida, en la HMI en la sección de configuración básica, el usuario tiene la opción de elegir cualquiera de estos 3 para su empaquetado rápido.

Para poder obtener esta densidad, es necesario realizar una medición experimental de los tipos de cacahuete a envasar, esto consiste en colocar el producto en un volumen determinado, en ese caso se realizó con un volumen de 125 centímetros cúbicos para el experimento en particular, se mide su masa y se calcula la densidad aparente de los productos, que para este caso se tomarán 3 tipos como prueba: enchilado, japonés y español, de los cuales la densidad aparte de cada uno es.

Enchilado: $125 \text{ cm}^3 \rightarrow 80 \text{ gramos}$ $\rho = 0.64 \text{ gramos sobre centímetro cúbico}$

Japonés: $125 \text{ cm}^3 \rightarrow 50 \text{ gramos}$ $\rho = 0.4 \text{ gramos sobre centímetro cúbico}$

Español: $125 \text{ cm}^3 \rightarrow 75 \text{ gramos}$ $\rho = 0.60 \text{ gramos sobre centímetro cúbico}$

De este modo, el programa por medio de comparadores, como se muestra la figura 141, ingresa la densidad ya calculada con anterioridad, a la variable de punto flotante denominada con el mismo nombre, posteriormente calcula el gramaje mínimo y el gramaje máximo posibles utilizando los extremos de volumen ya calculados para el dosificador 191–572 centímetros cúbicos, así es como el programa marca los extremos.

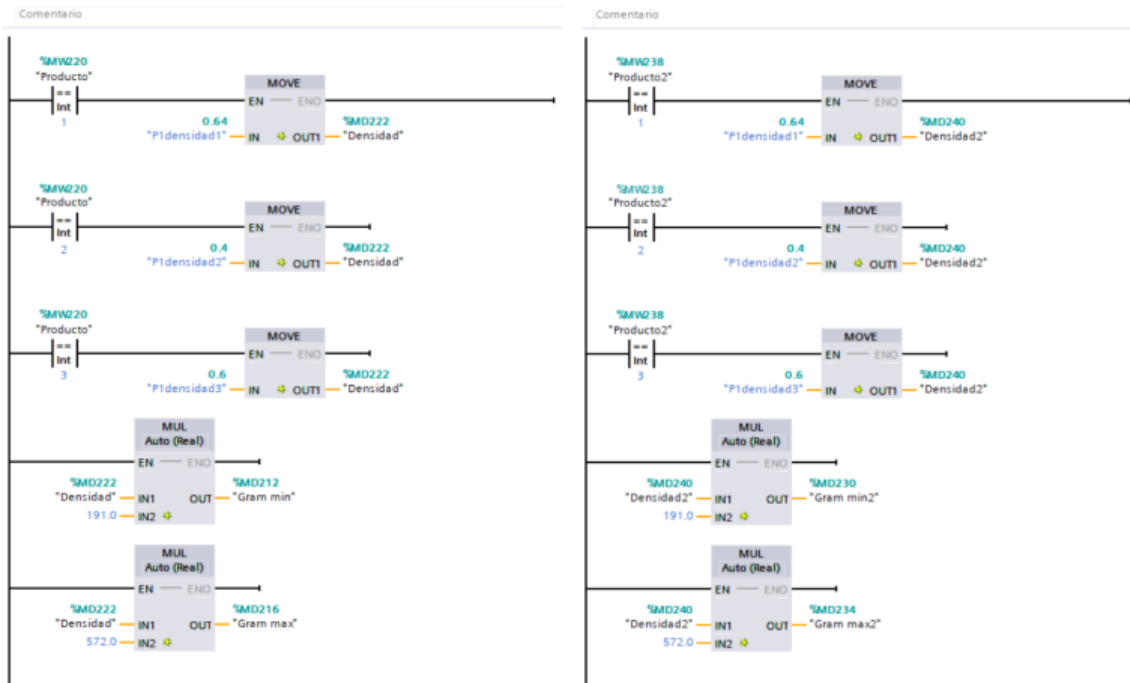


Figura 141. Bloque de transformación densidad- gramaje (elaboración propia).

Hecho esto, el programa procede a utilizar el gramaje deseado por el usuario, el cual ya se cotejó con los extremos del anterior segmento y los convierte en volumen. Este dato lo guarda en la variable de punto flotante %MD120 y %MD124 para su posterior uso. La figura 142, muestra este paso.

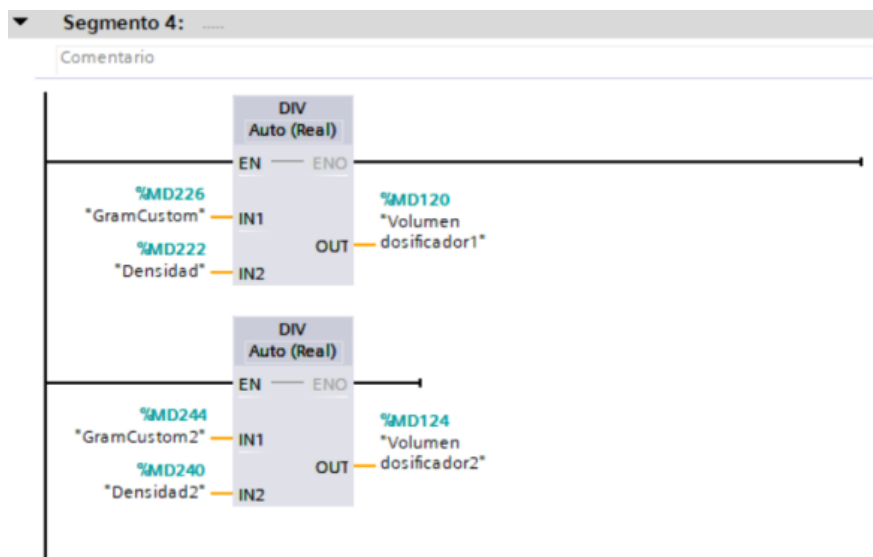


Figura 142. Convertidor de gramos a volumen (elaboración propia).

Obtenido el dato del volumen necesitado, el sistema procede a realizar una conversión; primero se normaliza el volumen solicitado con los extremos 191 y 572, es decir convierte el valor mínimo de 191 y lo equipara a 0 y el valor máximo 572 a 1, por lo que el volumen solicitado debe de encontrarse en algún punto entre 0 y 1. La normalización sirve para sacar un valor porcentual y sobre este obtener una proporción.

Con este valor obtenido, se procede a realizar un escalamiento sobre la variable del largo máximo de la bolsa, esta proporción de volumen ya está previamente calculada, por lo que resulta ser una proporción lineal, ya que el valor 10 corresponde al 191 y el valor 30 a 572. La figura 143 muestra el bloque de normalizado:

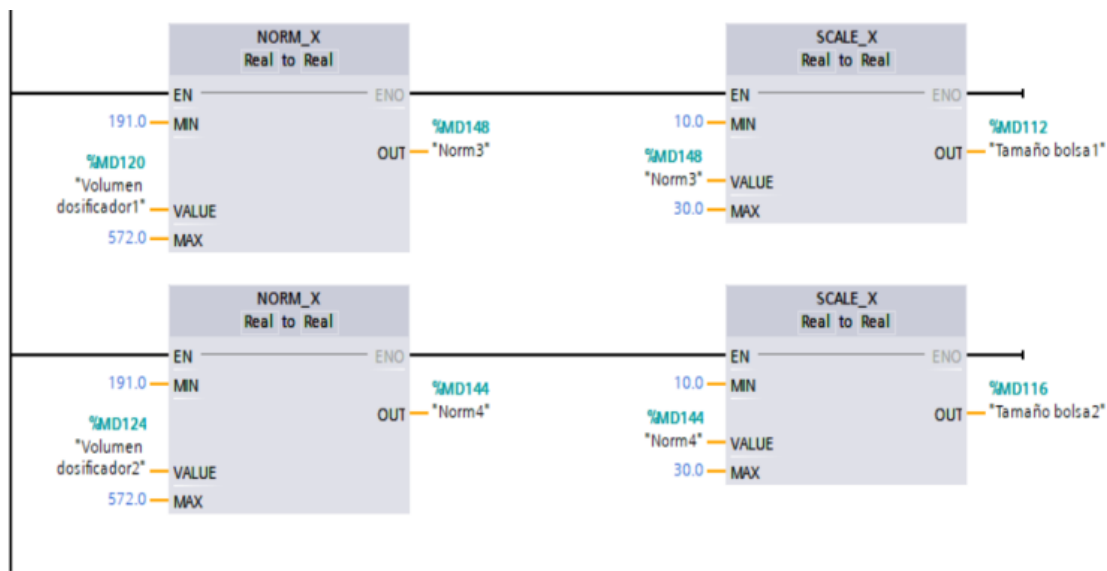


Figura 143. Bloque de normalizado-escalado primera parte (elaboración propia).

Este dato sirve para mostrar la información en la HMI y darle una idea al usuario de cómo se vería la bolsa de producto, sin embargo, poco más se puede hacer con el mismo, pues este dato tiene que ser convertido a PWM, esto se hace con la variable de punto flotante *%MW128* y *%MW132*, las cuales manejan las RPM del motor de arrastre, como se ve en la figura 144.

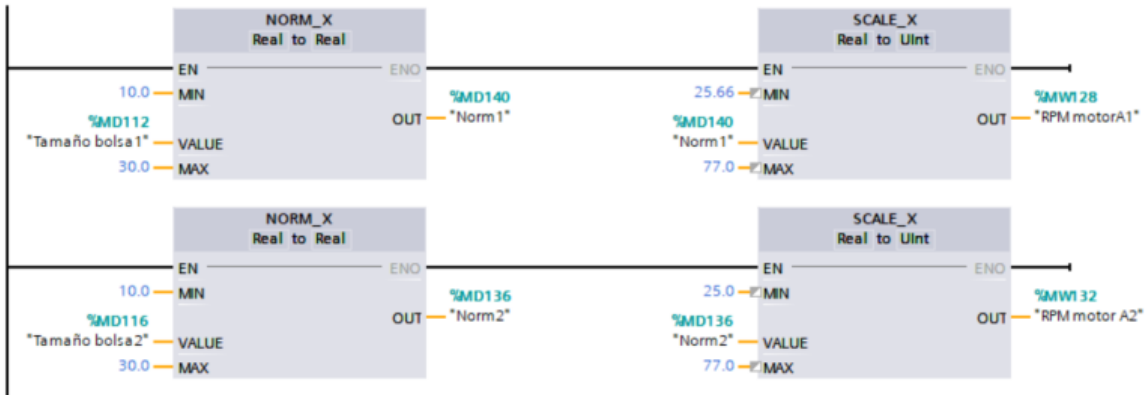


Figura 144. Bloque de normalizado escalado segunda parte (elaboración propia).

3.2.2.2 Subrutinas de control de motores de arrastre

El bloque de control de los motores de arrastre es bastante más sencillo de comprender, primero hay que activar los controles PWM, lo cual se hace con la variable interna #enabling, la cual es una entrada del bloque, facilitando su desactivación en caso de ser necesario, en la figura 145 se observa esto.

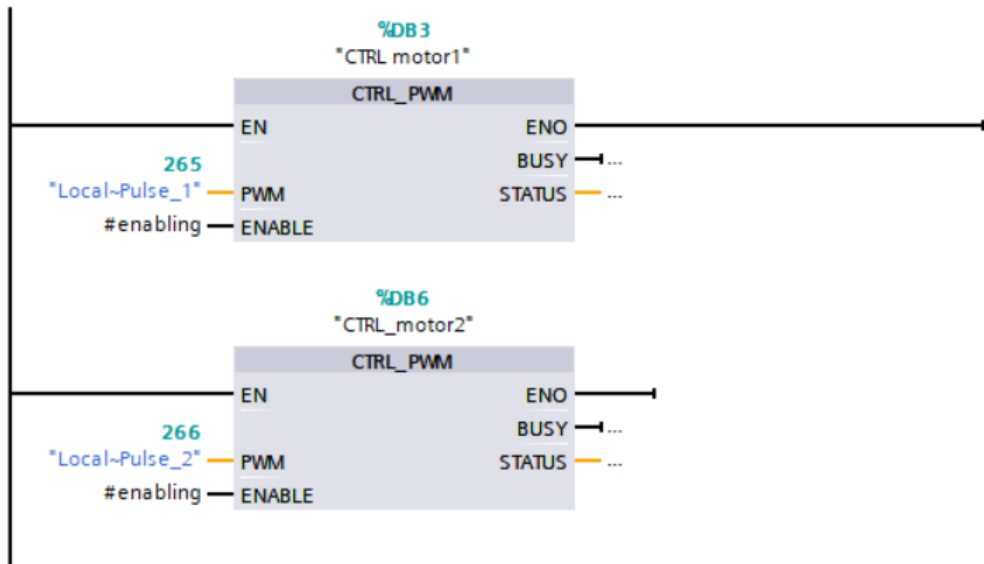


Figura 145. Activación del control del PWM (elaboración propia).

Y en la entrada de pulso, hay que revisar la salida de pulso dada por el PLC en la pantalla de información de éste y colocar la correspondiente, como se observa en la figura 146.

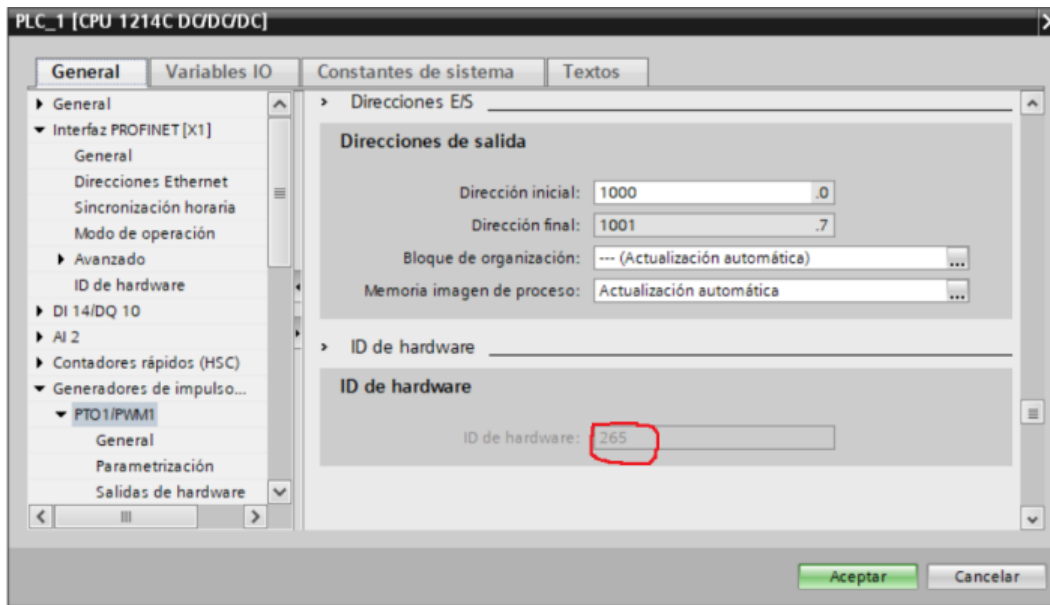


Figura 146. Obtención del ID de hardware para el PWM (elaboración propia).

Con el PWM activado, se mueve este valor a la salida `%QW1000` y `%QW1002` como se ve en la figura 147, estas salidas son simbólicas, pues la salida de pulsos se efectuará por la salida de datos que ya habíamos seleccionado en la configuración del PLC, pero es importante recordarla, porque así es como el PLC hace el reconocimiento de que se está pidiendo una salida PWM.

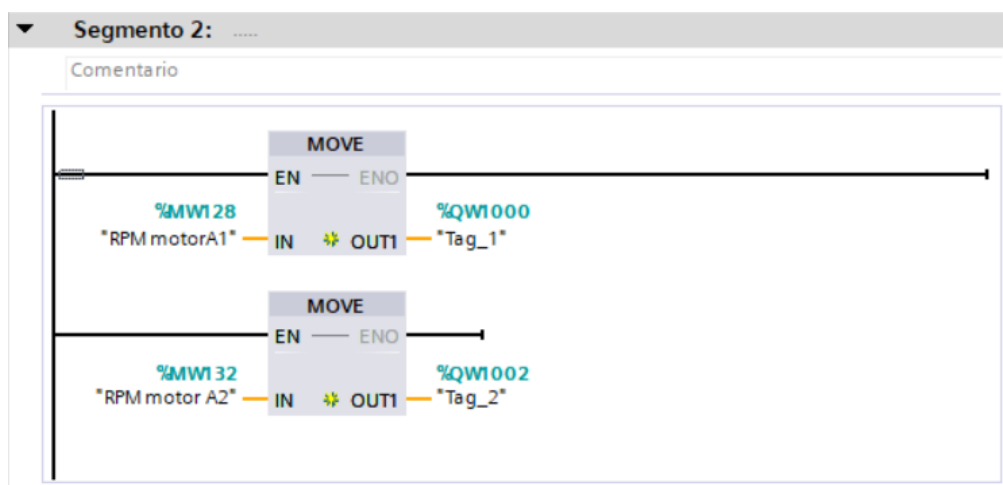


Figura 147. Canalizando el valor de las RPM obtenido en el normalizado a la salida PWM (elaboración propia).

Si se ve este funcionamiento en términos de control, se tiene que la variable manipulada sería la frecuencia de los pulsos generada por el PWM y nuestra variable controlada la velocidad del motor. Sin embargo, el usuario no manipula la frecuencia del PWM, éste manipula las variables que determinan el gramaje y la densidad, es decir el usuario manipula solo las localidades de memoria que determinan el gramaje deseado y la que determina la densidad, el resto lo realiza el programa por medio de esta subrutina de normalización, por lo que el diagrama de bloques de control, queda como se muestra en la figura 148.

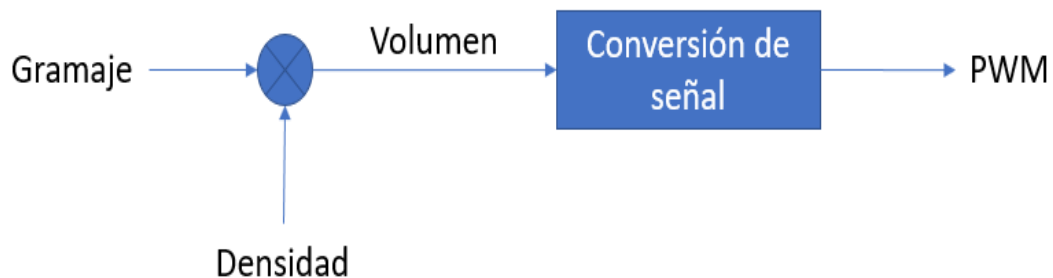


Figura 148. Diagrama de bloques del control del PWM (elaboración propia).

3.2.2.3 Subrutina control de motores de ajuste del dosificador

Para el control de los motores de ajuste, también se requiere de un normalizado mostrado en la figura 149, puesto que al igual que el bloque de control del PWM, éste utiliza la variable de volumen del dosificador, pero a diferencia de este, que tenía que ser convertido al tamaño de bolsa previamente para conocimiento del usuario, el motor del dosificador lleva una relación directa y lineal para con el volumen. Otra diferencia, es que en lugar de manipular el PWM para controlar la velocidad del motor, en este caso se manipula el tiempo de funcionamiento para controlar la posición de éste. Por lo anterior, la variable convertida tras la normalización está dada como tiempo de ajuste en las localidades *%MD156* y *%MD160*.

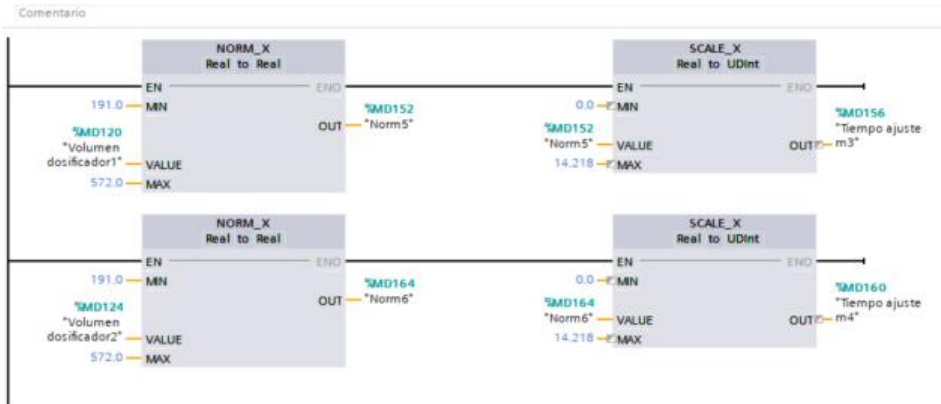


Figura 149. Normalizado y escalado del volumen al tiempo (elaboración propia).

Una vez ajustado el tiempo de funcionamiento, el programa revisa por una variable de localidad interna definida por el bloque mostrado en la figura 150, el #reset, si esta variable se encuentra desactivada, entonces prosigue a realizar una activación de impulso por el TP, recordemos que el uso de un temporizador del tipo TP requiere que la entrada deje de ser energizada, de lo contrario este continuará con la activación por un tiempo indefinido, para esto, la localidad de memoria interna #ajusting, hace la función de desenclave, hecho esto, el temporizador de impulso TP activará el motor de ajuste durante el tiempo solicitado y se desactiva.

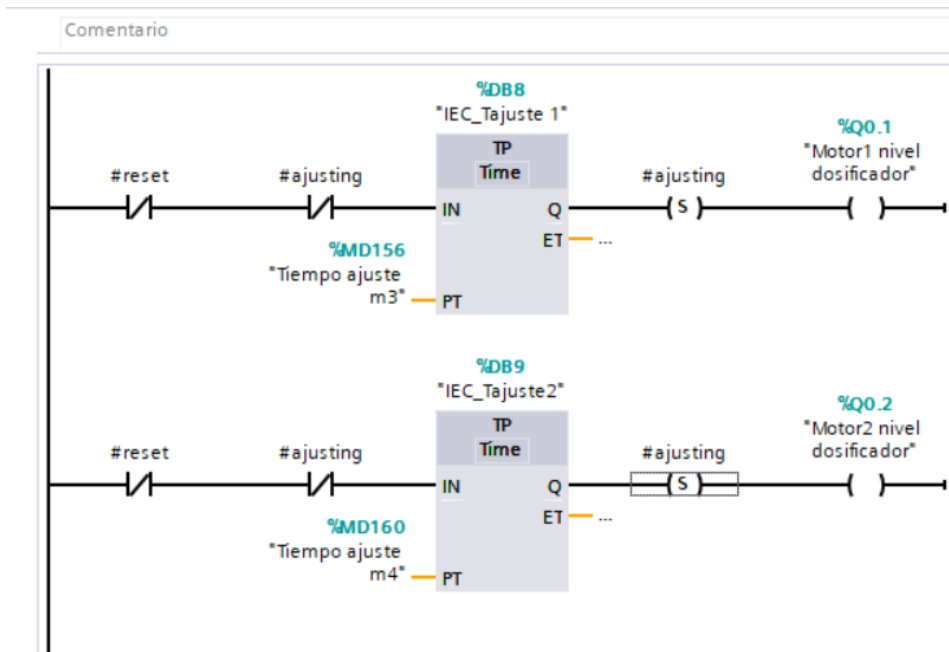


Figura 150. Tiempo de ajuste para motores (elaboración propia).

Dado el caso que el bloque haya sido llamado para restaurar los motores a su estado inicial, es decir, que la variable #reset se encuentre activa, como se aprecia en la figura 151, se le brinda un impulso de tiempo máximo es decir 14.21 segundos y se regresan a sus valores originales, siendo estos motores activados, así como la salida %Q1.1, la cual sirve para cambiar el sentido de giro de estos.

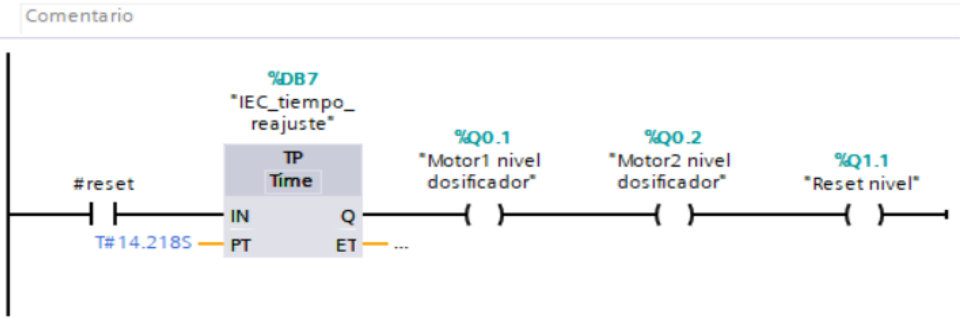


Figura 151. Reinicio de los motores a su posición inicial (elaboración propia).

3.2.2.4 Subrutinas de selladoras horizontal y vertical

Para controlar la velocidad de los motores horizontal y vertical, lo que procede, es hacer una pausa durante un lapso de funcionamiento, con el fin de permitir el ajuste por parte de los motores de arrastre y que durante el tiempo de funcionamiento la velocidad sea mayor, lo que permite un mejor sellado, como se muestra en la figura 152.

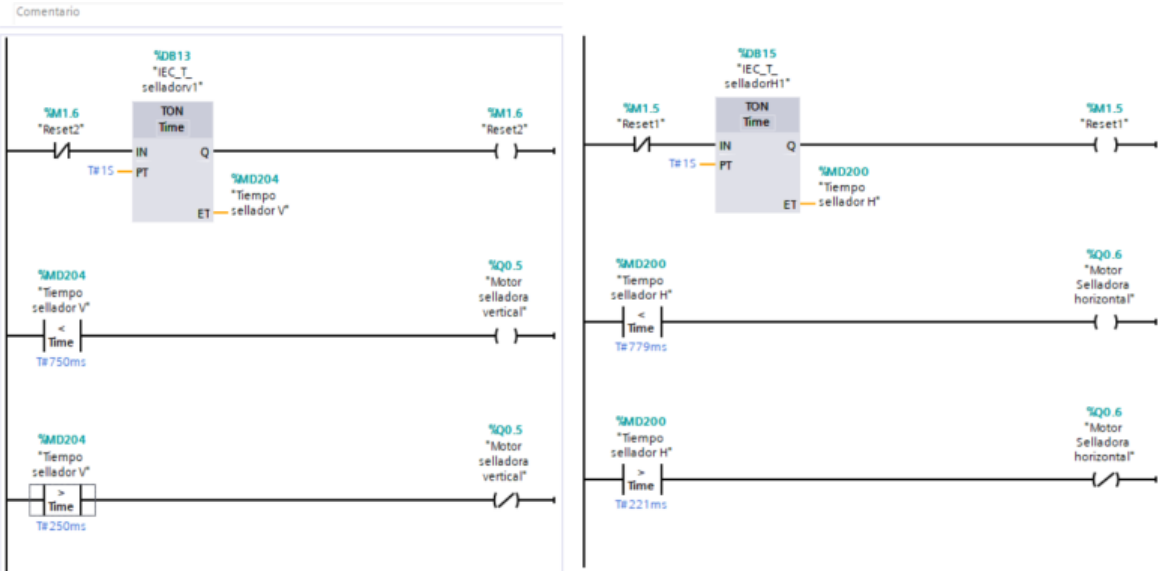


Figura 152. Subrutina de tiempos de motor de selladoras (elaboración propia).

3.2.2.5 Subrutinas de control de temperatura en selladores

Para el control de temperatura, se utilizarán las entradas análogas, donde se conectan los termopares tipo J, que van a estar dando un muestreo constante de la temperatura. Hay que recordar que un sensor de temperatura como el termopar, da la señal normalizada de 4-20 miliamperes y la entrada analógica del PLC es una entrada que mide de 0-10 volts, por lo que hay que hacer la conversión de forma manual sobre el PLC, esto se puede realizar de forma sencilla colocando una resistencia de 500 ohms sobre la entrada analógica del PLC, como se muestra en la figura 153.

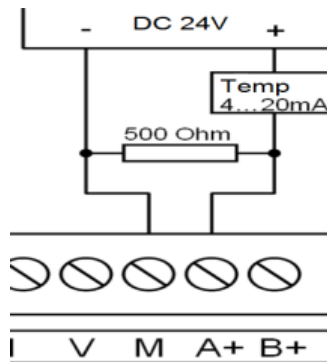


Figura 153. Resistencia entre las terminales análogas (elaboración propia).

Lo siguiente que se realiza, es un bloque extra de normalización y escalado de dicha señal, como se ve en la figura 154, pues el rango de temperatura es de 0-450 grados centígrados. y la señal analógica entra en valores de 0 a 27648. El valor obtenido tras dicho evento es el valor actual del sensor, el cual servirá como retroalimentación del sistema de control de temperatura.

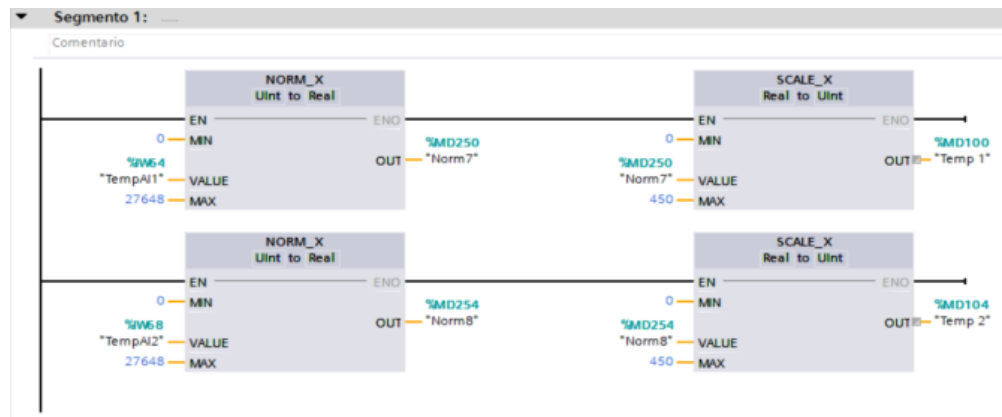


Figura 154. Bloque de normalización y escalado de temperatura (elaboración propia).

El siguiente paso es determinar los límites de los valores de operación, si bien la temperatura de sellado del *film* plástico es de 173 grados centígrados, hay que agregar el grado de error del sensor que es de 2.2 grados, para termopares tipo J y un margen del 2% sobre la medición para evitar complicaciones, esto nos da una temperatura mínima de censado de 178.66 grados centígrados, así para efectos, utilizaremos como valor mínimo para operar de 180 grados centígrados.

Para el valor máximo de operación, hay que tomar en cuenta que la selladora vertical debe trabajar a menor temperatura que la selladora horizontal, cuya temperatura máxima es de 220 grados centígrados, y hay que considerar que las selladoras verticales pueden pasar hasta 3 veces por el mismo punto, pues la resistencia vertical tiene una medida de 30 centímetros y el tamaño mínimo de bolsa es de 10 centímetros de largo, por esto mismo, se baja el límite de temperatura 20 grados, quedando en 200 grados centígrados, como se aprecia en la figura 155.

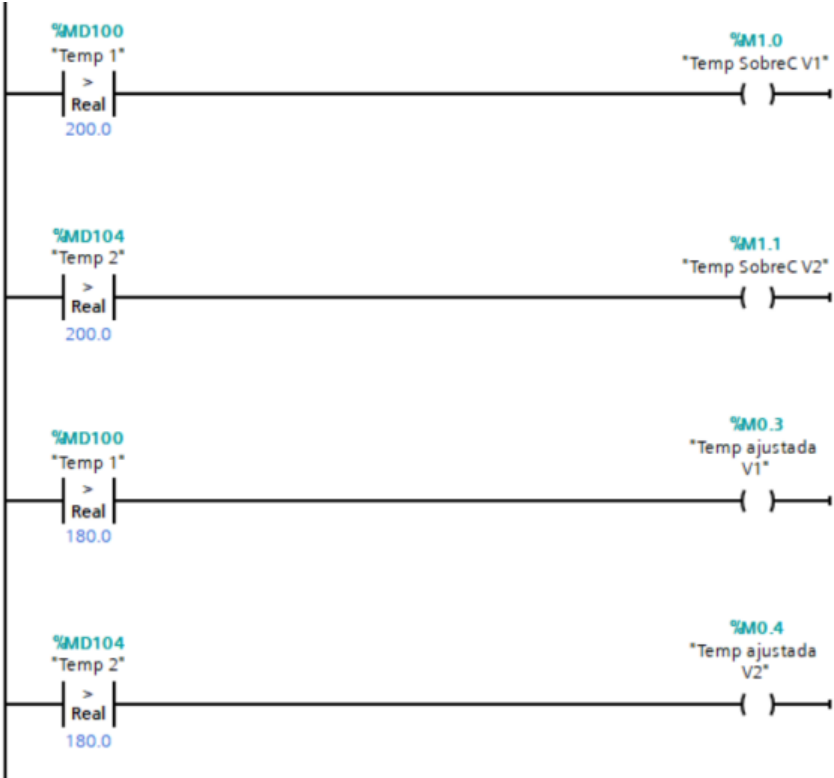


Figura 155. Establecimiento de los límites de operación (elaboración propia).

Este mismo contador nos marca el ritmo para ambas resistencias, como se aprecia en la figura 157.



Figura 157. Comparadores de tiempo de ajuste de temperatura (elaboración propia).

Lo siguiente en obtener es el set point, este valor está dado por el tamaño de la bolsa, a mayor tamaño mayor temperatura. Para esto, se hace uso de otro bloque de normalizado y escalado, aunque claro, estos valores de normalizado ya se habían obtenido previamente en el bloque de normalizado dado por las variables '%MD136' y '%MD140', así entonces solo se procede al escalado para los valores de temperatura, en la figura 158 se observa esto.

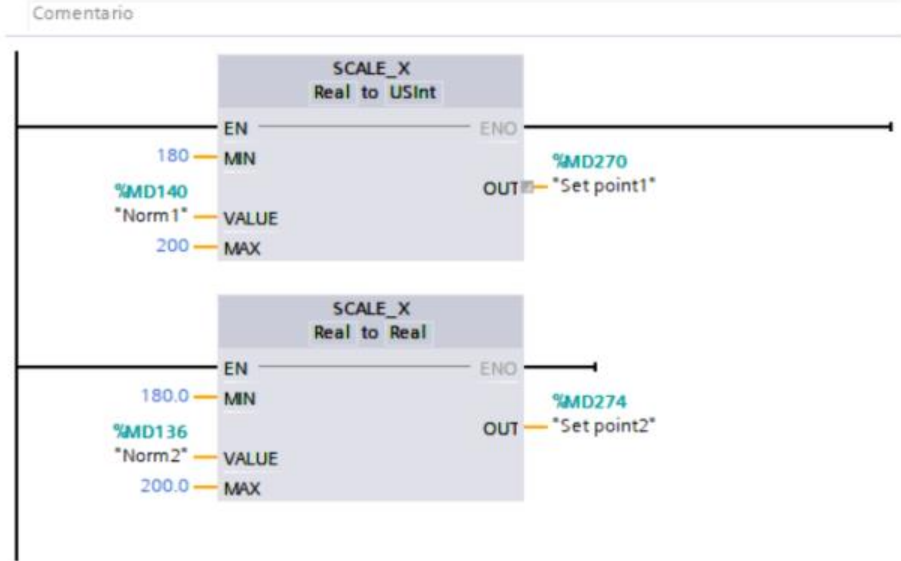


Figura 158. Escalado para la obtención del set point de temperatura (elaboración propia).

Para obtener ahora el porcentaje de funcionamiento, hay que hacer varias consideraciones matemáticas; en primer lugar, los ohms de la resistencia, la cual se obtiene del valor del metro de la resistencia el cual es 1.2 ohms/metro, es decir 0.36 ohms para los 30 centímetros de la resistencia, en segundo lugar, cuánta la potencia que se requiere, esta se obtiene de la ley de ohm que muestra la ecuación 7.

$$P = I * V \text{ ----- (7)}$$

Donde P es la potencia de $\cos n$ I es la corriente que circula por la resistencia y V la tensión de alimentación. Considerando un valor de alimentación a 12 volts se obtiene una corriente de 33 amperes por tanto sustituyendo estos valores se tiene que la potencia es:

$$W = 33 A * 12 V = 400 W$$

Este valor puede parecer excesivo y de hecho lo es, puesto que esto generaría una cantidad de calor exagerada, por eso mismo, en tercer lugar, se necesita determinar los tiempos óptimos de operación, disminuyendo tanto el gasto energético como el calor generado. Para esto, se obtiene la cantidad de calor que aumenta por segundo, es decir la delta T , esto se obtiene del dato de coeficiente del calor específico de la cinta de nicrom que es de 450 joule sobre kilogramo por grado celcius y la masa de la resistencia es de 3.3 gramos. Así entonces, utilizando las fórmulas del calor específico que muestra la ecuación 8.

$$T = \frac{xQ}{Ce * m} \text{ ----- (8)}$$

Donde T es el incremento de temperatura en la resistencia, xQ es la cantidad de calor, Ce es el coeficiente de calor específico y m la masa de la resistencia, sustituyendo los valores en la ecuación anterior se tiene que obtiene la delta de cambio de temperatura es:

$$T = \frac{400 J}{450 J/kg^{\circ}C * 0.0033 kg} = 269.3^{\circ}C$$

Siendo esta la temperatura alcanzada en 1 segundo de operación, alcanzando los 180 grados centígrados en solo 0.59 segundos, suponiendo que la temperatura ambiente esté a 20 grados. Como se puede apreciar por los resultados de la fórmula anterior, menos de un segundo bastaría para alcanzar la temperatura deseada, por eso es que estas resistencias se utilizan ampliamente en la fabricación de selladoras, por su rápida

respuesta, sin embargo, esto representa un problema en el censado de la misma, porque el termopar es incapaz de seguir un aumento tan estrepitoso de temperatura, para esto es que se le brinda un espaciado de inactividad de entre 1.5 y 2 veces el tiempo que tardó en alcanzar a llegar a la misma en forma de descanso. Durante este periodo de parado, la resistencia disipa el calor en el aire y en la superficie donde se sujeta.

Un detalle que tiene que ser mencionado, es que al ir aumentando el tiempo de operación, la resistencia comienza a calentarse menos puesto que aumenta su resistividad, pasando menos corriente, así mismo como efecto inverso, el calor disipado va siendo cada vez menor, ya que los elementos que la rodean van acumulando cada vez más calor, ambos efectos se tienden a anular entre sí y son normalmente despreciables, siempre que el lapso de operación sea menor a unas 8 horas, tras lo cual, se recomienda dar un descanso a la máquina de 20 a 40 minutos.

Para las consideraciones del controlador, se toman en cuenta los valores mínimos y máximos deseados, que son entre 180 y 200 grados centígrados, así como factores medio ambientales probables dentro del área de trabajo, como lo son temperaturas ambientales de 10 grados en los mínimos y de 50 grados en máximos, con la ecuación 9 se pueden obtener los tiempos de respuesta en base a los factores ambientales.

$$t = \frac{T}{\alpha T} \text{ ----- (9)}$$

Donde t es el tiempo que tarda en alcanzar la temperatura, T la temperatura para de acuerdo a los factores ambientales y αT , es el incremento de la temperatura, por lo tanto, el rango de ajuste ya haciendo una compensación, sería de entre 130 para un verano caluroso y 190 para un invierno frío, en términos del tiempo el rango es de:

$$t_{min} = \frac{130 \text{ }^\circ\text{C}}{269.3 \text{ }^\circ\text{C} * s} = 0.48 \text{ s}$$

$$t_{max} = \frac{190 \text{ }^\circ\text{C}}{269.3 \text{ }^\circ\text{C} * s} = 0.70 \text{ s}$$

Con los datos obtenidos, se desarrolló el bloque de la figura 159:

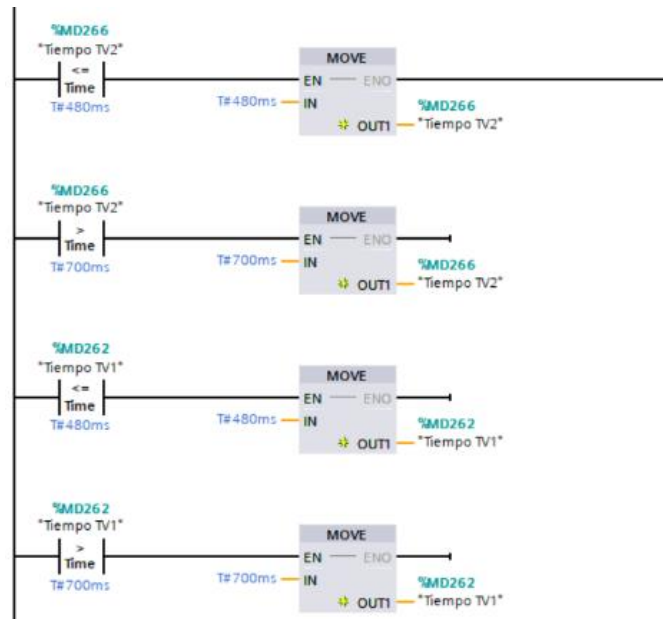


Figura 159. Determinación de los límites de tiempo (elaboración propia).

Estos datos se utilizarán para el control proporcional de la temperatura, que muestra la figura 160. Lo primero será aumentar la temperatura de forma fija, por un tiempo limitado, iniciando el arranque de la resistencia por un lapso de 10 segundos en T_{min} de $T\# 480$ milisegundos, esto con la finalidad de ayudar a dispersar el tiempo que el sensor tardará en adaptarse al cambio de temperatura, así como reducir un posible sobretiro ocasionado por una respuesta proporcional simple.

Pasados estos 10 segundos, la variable local #AR se desactiva, iniciando el control proporcional, el control proporcional hace una revisión a los sensores de temperatura cada vez que comience el ciclo *ON/OFF* del contador %DB17, esto brinda de un muestreo de temperatura de 2 segundos, tiempo suficiente para que el sensor se adapte al cambio y se reduzca el grado de error.

Posteriormente, 4 comparadores analizan si la temperatura está por debajo o por encima del *set point*, si se está por debajo, el tiempo de activación se aumenta en 10 milisegundos, para elevar la temperatura, mientras si se encuentra por encima, el mismo se reduce 10 milisegundos bajando la temperatura por ciclo. Cada 10 milisegundos de cambio representan una variación aproximada de 2.7 grados centígrados, por lo que el rango de operación es bastante estrecho.

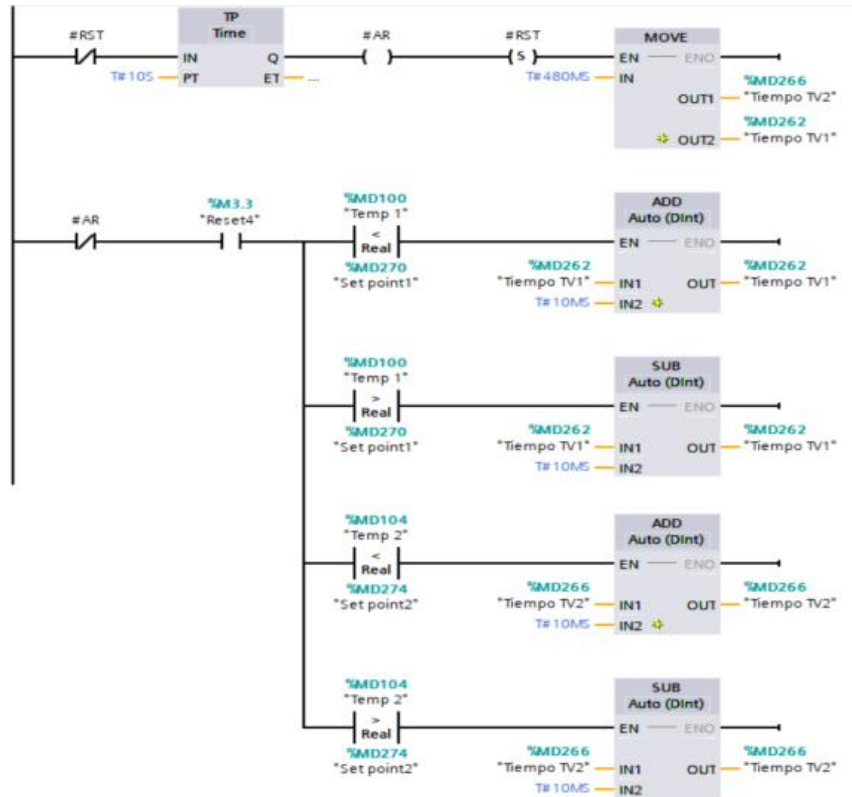


Figura 160. Control proporcional para regulación de la temperatura (elaboración propia).

Si se analiza bien este sistema es bastante sencillo, debido a que se puede resumir en un diagrama de bloques a lazo cerrado con una retroalimentación simple, como se muestra en la figura 161.

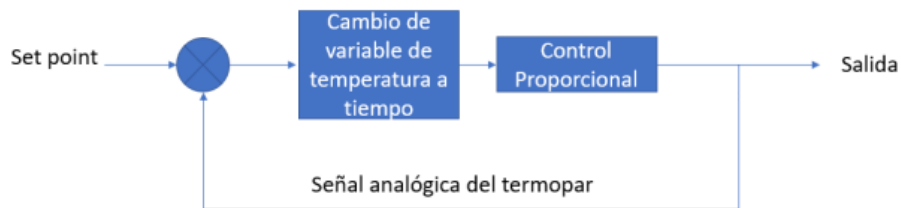


Figura 161. Diagrama de bloques del control de temperatura (elaboración propia).

Para el ajuste del control de temperatura en el anexo 9, el fabricante proporciona la guía de usuario, la cual, permite configurar desde el panel frontal, los parámetros de las alarmas, así como la acción de control de a emplear. De esta forma se tiene todas las subrutinas necesarias para el control de temperatura de la máquina.

3.2.3 Propuesta de diseño de HMI

Para el proyecto de ingeniería actual, se propone el uso de una HMI KTP700 *Basic Panel*, de conexión *Profinet*. Como se puede apreciar en la figura 162, la HMI cuenta con 4 pantallas, el menú principal, la “*config*” o configuración estándar, la “*avanzada*” o configuración avanzada y la pantalla de “*monitor*”, la cual sirve para ver el funcionamiento.

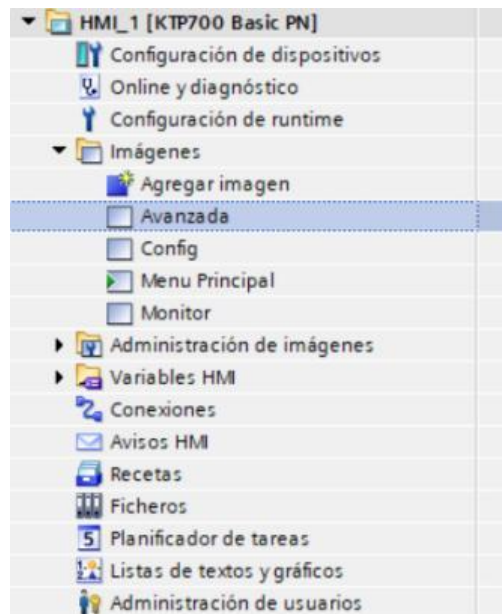


Figura 162. Pantallas de la HMI (elaboración propia).

La pantalla de menú principal, en la figura 163, está compuesta por 4 botones y 6 señales de alarma, 5 de las cuales pertenecen al apartado de errores, estas 5 señales de alarma están agregadas sobre la plantilla principal, por lo que se verá incluida en todas las pantallas, esto con la finalidad de poder monitorear las posibles fallas críticas del sistema. Las primeras tres corresponden a los sobrecalentamientos de las resistencias de sellado y corte, si estas se sobrecalientan la alarma se vuelve roja, indicando un fallo crítico.

Las siguientes dos alarmas nos indican el estado de los sensores de producto y de plástico, y en caso de faltar alguno de estos sensores arrojarán una alerta amarilla en señal de precaución, esto para el efectos se traduce en lo siguiente: si la máquina tiene ausencia de alguno de estos elementos no podrá arrancar, sin embargo, si estos elementos se han agotado durante el transcurso de su ciclo de trabajo, entonces la máquina podrá continuar trabajando; pero entrará en paro pasados 10 minutos tras activarse la misma, como se vio en el segmento número 6 del programa *main*. El sexto indicador, indica si la máquina se encuentra en el proceso de cambio de rollo plástico, lo cual es una subrutina programada

el segmento 8 del programa *main*. y se activa con la variable ciclo de trabajo %M1.3, bajo el control del botón cambio de bolsa. Los otros 3 botones conducen a las pantallas subsecuentes.

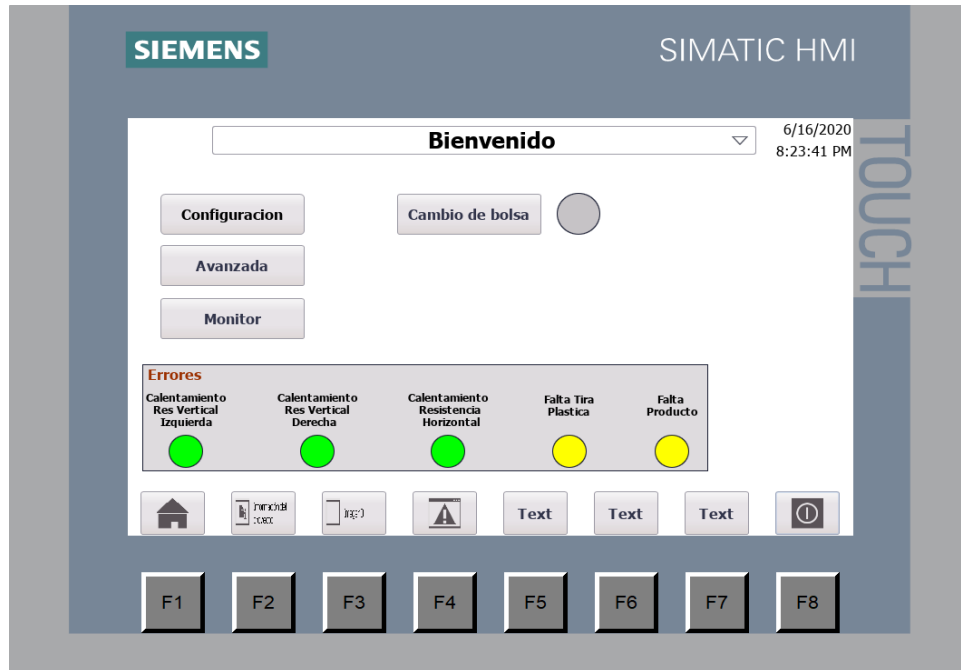


Figura 163. Pantalla de menú principal (elaboración propia).

Para la pantalla de configuración en la figura 164, permanecen las alertas de error como se dijo anteriormente, pues esta pertenece a la plantilla principal y deben de ser visibles en todo momento. Mientras que en la parte superior izquierda se presenta un recuadro con 4 opciones, 2 opciones para determinar el tipo de producto deseado de entre una lista de productos predefinidos, y otros 2 recuadros para introducir el valor de gramaje deseado. Al introducir un producto deseado, el sistema coloca una densidad predefinida en la variable de densidad %MD222 Y %MD240 como se puede apreciar en la subrutina de normalizado, así mismo, el gramaje se encuentra acotado por las variables %MD212, %MD216, %MD230 y %MD234 descritas en el mismo apartado de dicha subrutina, y el cual se puede apreciar en los medidores de nivel dispuestos al lado derecho del mismo recuadro. Estos medidores indican el límite superior con la flecha roja y el dígito que se encuentra a un lado de este y el límite inferior con la flecha amarilla en el recuadro de la parte baja, mientras que el gramaje ingresado está marcado por el llenado de la marca verde. En caso de que la variable se encuentre fuera de los límites dispuestos por el programa, no será

posible ingresarla. Además, cabe resaltar que el límite es voluble y cambia en función de la densidad del producto.

En la parte inferior derecha se encuentran un par de indicadores, los cuales informan el tamaño que tendrá la bolsa bajo las condiciones expuestas anteriormente, obtenidos también de la subrutina de normalizado. Finalmente, se tienen los botones de arranque y paro de la HMI los cuales se encuentran directamente comunicados con las localidades de memoria %M2.7 y %M3.0.

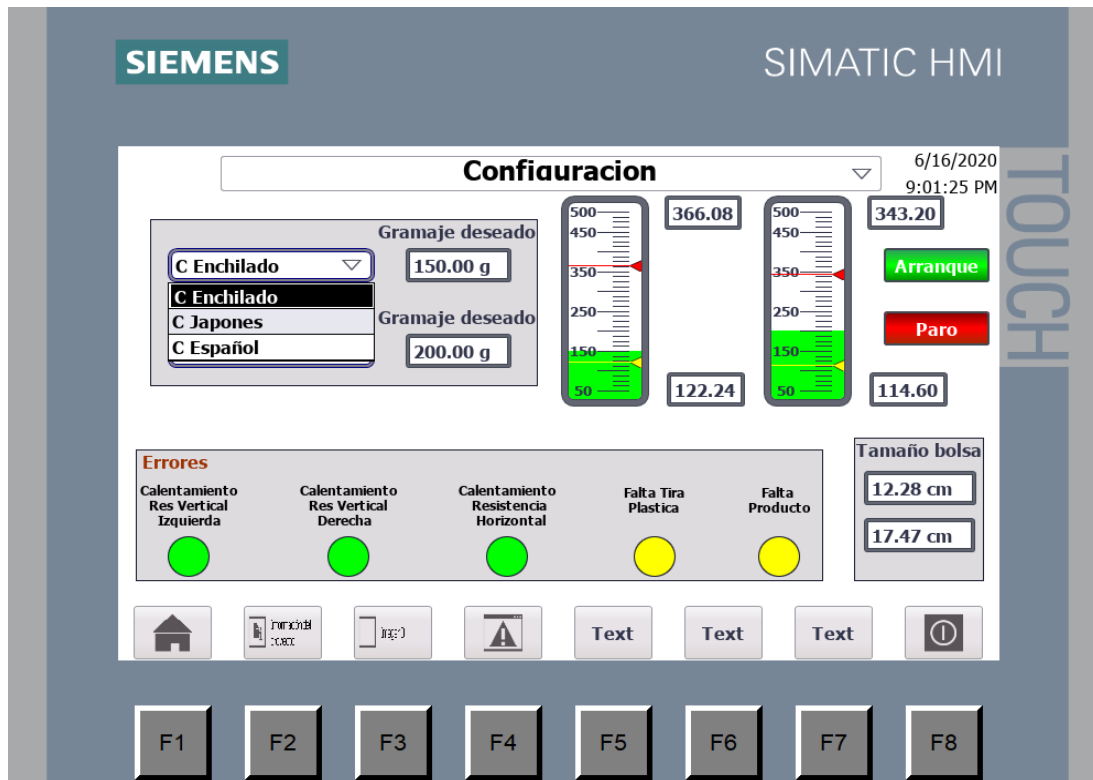


Figura 164. Pantalla de configuración estándar (elaboración propia).

Para la pantalla de “Configuración avanzada” en la figura 165, se tiene una segmentación muy similar a la anterior, pero en lugar de colocar un producto ya predefinido se le da opción al usuario de ingresar la densidad a sus necesidades, por si éste quiere empaquetar un producto que no esté listado previamente.

Esto otorga mucha flexibilidad al programa, pudiendo adaptarse a casi cualquier producto del mercado. También se cuenta con otra opción adicional; la de adaptar las temperaturas de sellado horizontal de forma manual por si se utilizó un tipo diferente de tira plástica.

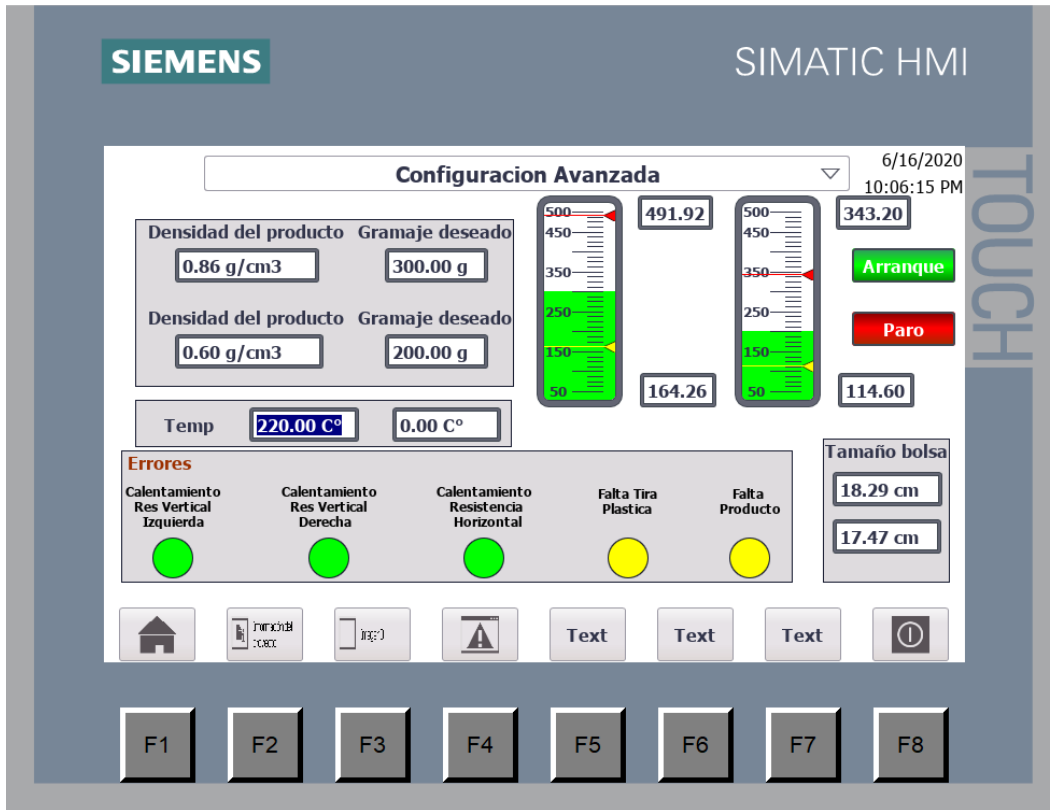


Figura 165. Pantalla de configuración avanzada (elaboración propia).

Para finalizar, se presenta la 'pantalla de monitoreo' en la figura 166, en la cual, se puede apreciar todas las variables anteriormente mencionadas, así como el funcionamiento procedural de los motores en funcionamiento, es decir, debajo de cada imagen representativa de cada motor se encuentra una alerta que indica si el motor se encuentra activo o inactivo. Y, por último, también incluye un contador que muestra la cantidad de piezas realizadas desde el momento de su encendido.

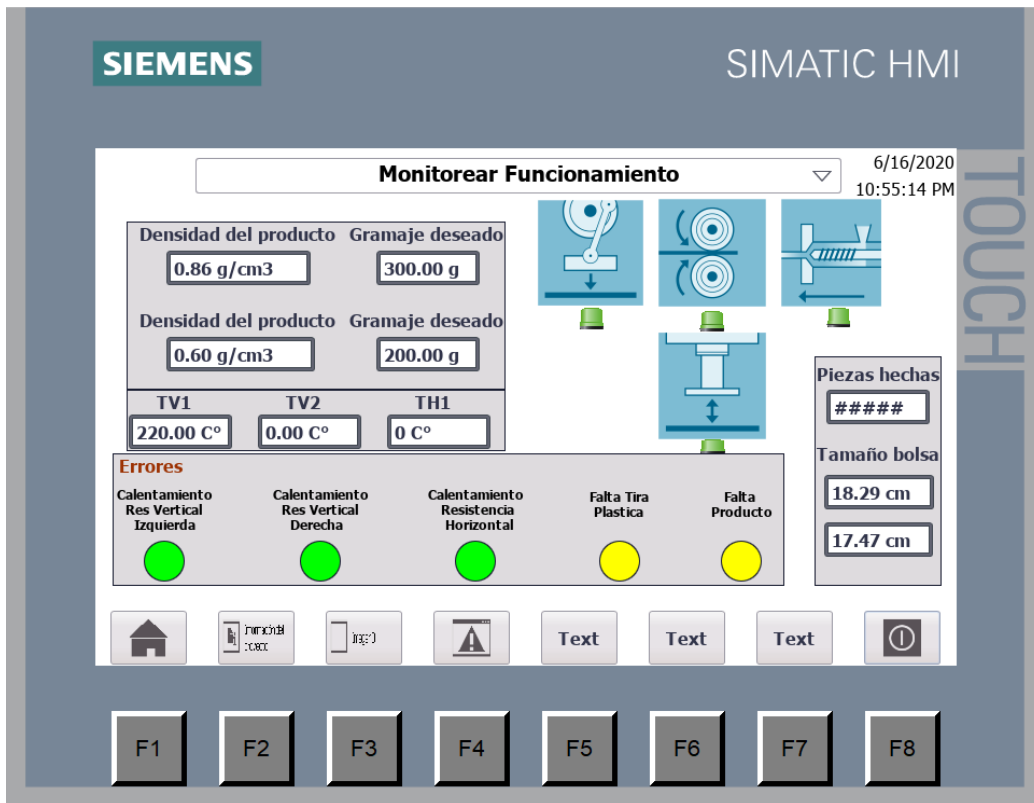


Figura 166. Pantalla de monitoreo (elaboración propia).

De este modo se presenta la interfaz, desde la cual se ajustan todos los parámetros del proceso contemplando el tipo de producto a envasar, el material de envasado y la longitud del envase, así es posible que el operador pueda ajustar las variables de manera fácil lo que la hace muy versátil en las pequeñas empresas, y de este modo brindando las cualidades de ajuste en un solo entorno.

Para la elaboración de este programa, se hizo uso de los cálculos previamente realizados en el apartado de ingeniería del hardware, como el cálculo de velocidad de arrastre, el cálculo de densidad, cálculos de volumen en dosificador y demás variables físicas que se estudiaron a fondo, ya que la máquina cuenta con un número limitado de sensores. Esto se realizó así por ser una máquina precisa con una alta estandarización, es decir, que requiere que todos los productos salidos de la misma, sean idénticos o con mínimas variaciones; esta máquina no debe pasar por el sistema 'ajuste-corrección' de un sistema de control convencional, porque debe ajustarse inmediatamente y con precisión. Además, la mayoría de los movimientos se encuentran coordinados y esto hace que existan pocas perturbaciones.

Por esto mismo el único sistema de lazo cerrado es el de la temperatura, en otras palabras, esta es la única de las variables que sí podría dispararse de un momento a otro por alguna perturbación del sistema, como un ligero cambio de tensión o el cambio de medio de trabajo, por lo que es la única que requiere monitoreo constante.

También, al hacer una revisión de las simulaciones efectuadas, se pudieron obtener algunas de las imágenes aquí presentadas para su análisis e interpretación y se puede concluir que el programa efectúa de forma correcta aquello para lo que se propuso, dando por cumplidos los objetivos expuestos al inicio del capítulo.

Se puede afirmar que el uso de TIA Portal para la programación y configuración del PLC, facilitó enormemente el proceso pues la interfaz es bastante intuitiva y fácil de usar, así como la sencillez de la programación por bloques del mismo.

3.3. Análisis económico

El capítulo presente tiene como objetivo el mostrar una propuesta de cotización aproximada del precio del proyecto, de manera que, si se desea realizar la implementación a futuro, se tenga conocimiento de los costos de los equipos y material que intervienen tanto en la fabricación y desarrollo de ingeniería, como en el diseño de los componentes principales, y por lo tanto, pudiese ser presentada al comprador potencial y/o interesado en la adquisición del producto.

Es importante mencionar que los precios que se muestran en los elementos de automatización fueron recopilados de catálogos que se encuentran disponibles en sitios del fabricante, así como el contacto con proveedores autorizados de los mismos, sin embargo, en algunos de estos componentes se aproximó el valor en aquellos casos en donde no fuese posible estimar el precio con exactitud, ya que muchos de los catálogos y precios no están disponibles o no se muestran al público en general.

Posteriormente, se realiza un análisis costo-beneficio para determinar la rentabilidad del proyecto y los beneficios que se generarían al implementar la propuesta.

3.3.1 Análisis de costos

Para comenzar, se consideró importante definir el concepto de costo, el cual, se define como “el gasto económico ocasionado por la producción de algún bien o la oferta de algún servicio. Este concepto incluye la compra de insumos, el pago de la mano de trabajo, los gastos en la producción y administrativos, entre otras actividades”¹⁵⁰.

A continuación, se presentan los costos aproximados de los componentes que son necesarios para la construcción de la propuesta de diseño, mano de obra entre otros. Cabe señalar que el presente análisis se limita a la automatización de la máquina de envasado de cacahuete, considerando los aspectos que ya fueron detallados a lo largo de la propuesta.

3.3.1.1 Costo de materiales y equipo

De acuerdo con los objetivos propuestos en el trabajo, se han escogido distintos elementos de automatización y control que en conjunto con los elementos mecánicos y de diseño, complementan las partes constitutivas del presente proyecto. En la tabla 17, se muestran los costos aproximados de los componentes propuestos; en la columna con la leyenda ‘Precio unitario con IVA’, se indica el precio unitario de cada elemento con un IVA del 16%, en la columna de ‘Precio unitario final más 10%’, se muestra el precio de cada componente más un sobredimensionamiento del 10% respecto al anterior.

Esto es debido a que se debe tomar en cuenta los costos de envío o si en caso de que fuese necesario tener que recogerlos en sucursal, se deberá pagar al personal correspondiente de esta tarea los costos por concepto de transportación o similares. En la última columna llamada ‘Subtotal’ se indican los valores de la columna ‘Precio unitario final más 10%’ multiplicado por el número de piezas requerido de cada elemento, cabe señalar que todos los precios mostrados son en moneda nacional correspondiente a pesos mexicanos.

¹⁵⁰ Disponible en: <https://concepto.de/costo/>, fecha de consulta 20 de Mayo de 2020.

Costos de instrumentos, materiales y componentes propuestos					
Instrumentos / Componentes / Materiales	Unidad	Precio unitario con IVA (\$)	Precio unitario final más 10% (\$)	Número de piezas	Subtotal
PLC <i>Siemens</i> SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, AC/DC/Relé	Pieza	6,960.00	7,656.00	1	7,656.00
Fuente de alimentación SITOP PSU100S	Pieza	3,323.00	3,655.00	1	3,655.00
Fuente de alimentación <i>Industrial Shields</i>	Pieza	2,820.25	3,102.27	1	3102.27
HMI <i>Siemens</i> KTP700 BASIC	Pieza	6,042.00	6,646.82	1	6,646.82
Controlador de temperatura <i>Schneider Electric</i> modelo REG	Pieza	10,294.41	11,323.85	1	11,323.85
Luz piloto con contacto NA Y NC	Pieza	823.00	905.30	2	1,810.60
Luz piloto monolítica de Led	Pieza	1,218.00	1,339.80	4	5,359.20
Botón Pulsador con contacto NA y NC	Pieza	415.80	457.38	2	914.76
Botón de emergencia con des enclavamiento giratorio	Pieza	1,458.00	1,603.80	1	1,603.80
Lamina de acero inoxidable AISI 316 L calibre 12	Kilos	65.00	71.5	50	3,575.00
Tubular cuadrado 3X3 centímetros	Pieza	1,527.00	1,679.70	3	5,039.10
Acrílico de 5 milímetros de grosor	Pieza	336.00	369.60	2	739.20
Gabinete NSYCRN 43200P (40x30x20 centímetros)	Pieza	2,473.00	2,720.30	1	2,720.30
Gabinete NSYCRN 64250P (60x40x25 centímetros)	Pieza	2,623.10	2,885.41	1	2,885.41
Clemas de conexión de 15 milímetros	Pieza	30.00	33.00	70	2,310.00
Riel DIN 35 milímetros	Pieza	133.40	146.74	4	586.96
Ducto ranurado con tapa de 30x30 milímetros	Metros	94.14	103.55	7	724.85
Cable calibre 12 AWG	Metros	15.08	16.58	15	248.70
Cable ethernet cat6 (UTP)	Metros	120.00	132.00	3	396.00
Relé de estado sólido SSM1D26BD <i>Schneider Electric</i>	Pieza	1,416.40	1,558.04	1	1,558.04
Contactador auxiliar TeSys CA2SK (25 A) <i>Schneider Electric</i>	Pieza	1,227.70	1,350.47	1	1,350.47
Disyuntor termomagnético TeSys (3 A) <i>Schneider Electric</i>	Pieza	1,619.98	1,781.97	1	1,781.97
Interruptor termomagnético TeSyS porta-fusiel 1P N 25 ^a amperes <i>Schneider Electric</i>	Pieza	508.26	559.08	1	559.08

Sensor fotoeléctrico de barrera <i>Autonics</i> BPS	Pieza	2,312.15	2,543.36	1	2,543.36
Sensor fotoeléctrico de barrera <i>Autonics</i> BRQ	Pieza	2,585.00	2,843.50	1	2,843.50
Sensor de temperatura Termopar tipo j (1 metro)	Pieza	700.00	770.00	3	2310.00
Motorreductor monofásico ZD <i>motors</i> 6IK180GU-AF de 110 volts de corriente alterna	Pieza	3,300.00	3,630.00	1	3,630.00
Motorreductor de corriente directa <i>bringsmar</i> DM-82SW 4468	Pieza	1,002.24	1,102.46	1	1,102.46
Motorreductor Brushles BC 7060 ZD <i>motors</i>	Pieza	2,246.03	2,470.63	2	4,941.27
Motorreductor Pololu Gearmotor 37Dx57L	Pieza	625.14	687.65	2	1,375.30
Motorreductor ZD <i>Motors</i> Z5D60-24	Pieza	2,713.50	2,984.85	1	2,984.85
Correa de arrastre 56 dientes (585 x 24 centímetros)	Pieza	1,242.22	1,366.44	2	2,732.88
Resistencia eléctrica para teflón (30 centímetros)	Pieza	60.00	66.00	1	66.00
Resistencia eléctrica para teflón (60 centímetros)	Pieza	120.00	132.00	1	132.00
Engrane recto (128 milímetros)	Pieza	1,246.00	1,370.60	2	2,741.20
Polea dentada 16 dientes (6 centímetros)	Pieza	487.20	535.92	4	2,143.68
Polea dentada 16 dientes con rodamiento (6 centímetros)	Pieza	550.00	605.00	4	2,420.00
Anillo con cerdas (10 centímetros)	Pieza	150.00	165.00	2	330.00
Tubular (10 centímetros)	Pieza	35.00	38.50	1	38.50
Tubular (20 centímetros)	Pieza	45.00	49.50	2	99.00
Tubo formador tipo cono	Pieza	3,157.50	3,473.25	1	3,473.25
Polea (20 centímetros)	Pieza	80.00	88.00	3	264.00
Buje de seguridad (30 centímetros)	Pieza	362.50	398.75	4	1,595.00
Chumacera para eje dosificador	Pieza	130.00	143.00	2	286.00
Mecanismo del sistema dosificador	Pieza	5,000.00	5,500.00	2	11,000.00
Mecanismo de ajuste volumétrico	Pieza	1,500.00	1,650.00	2	3,300.00
Mecanismo de sellado vertical	Pieza	6,000.00	6,600.00	1	6,600.00
Mecanismo de sellado horizontal	Pieza	11,000.00	12,100.00	1	12,100.00
Soporte bridado con rodamiento para sistema de arrastre	Pieza	71.00	78.10	4	312.40
Soporte bridado para sistema de arrastre	Pieza	27.00	29.70	4	118.80

Eje para sistema de arrastre (10 x 140 milímetros)	Pieza	320.00	352.00	4	1,408.00
Eje con rosca para sistema de arrastre (10 x 155 milímetros)	Pieza	280.00	308.00	2	616.00
Rodamiento lineal 20 (centímetros)	Pieza	20.00	22.00	2	44.00
Rodamiento lineal 30 (centímetros)	Pieza	28.00	30.80	4	123.20
Rodamiento lineal 40 (centímetros)	Pieza	32.00	35.20	2	70.40
Tornillería cabeza hexagonal	Pieza	8.00	8.80	30	264.00
Tornillería rosca milimétrica	Pieza	8.00	8.80	50	440.00
Tornillería cabeza hueca	Pieza	6.60	13.20	120.000	1,584.00
Tuercas variadas	Pieza	2.00	2.20	50	110.00
Misceláneos (bujes, chavetas, pasadores etc.)					300.00
Total					143,030.43

Tabla 17. Costos de instrumentos, materiales y componentes propuestos (elaboración propia).

3.3.1.2 Costos de instalación

Una vez que se ha realizado la cotización y sumatoria de los costos del material propuesto en la construcción de la máquina, es pertinente determinar los costos operativos de la construcción, instalación y puesta en marcha del proyecto, esto involucra la ayuda de personal experimentado en distintas ramas de ingeniería, que en conjunto coordinen el correcto ensamblaje y funcionamiento de la máquina.

Como se mencionó en la propuesta de diseño, serán necesarias las habilidades de un ingeniero mecánico, esta persona desempeñará las funciones de armado y construcción de los distintos subsistemas y mecanismos que integran al proyecto, como la del sistema de dosificación por vasos volumétricos, el ajuste de arrastre con poleas dentadas y diversas tecnologías relacionadas.

En conjunto, el ingeniero electricista industrial y su respectivo ayudante, tendrán la tarea de realizar el cableado y conexión de los dispositivos que requieran la intervención de sus conocimientos en instalaciones eléctricas, esto incluye conexiones de motores, armado de gabinetes, circuitos derivados y acondicionamiento del lugar en el que se sitúe la máquina físicamente, también tendrán influencia en la parte de protección y seguridad de los instrumentos que necesitan un respaldo secundario de alimentación.

Finalmente, la experiencia de un ingeniero en control y automatización, será necesaria cuando se establezca la configuración de los instrumentos propuestos, esto incluye la programación del PLC y la interfaz humano máquina así como de los elementos de automatización que se han seleccionado en el capítulo correspondiente de este trabajo, pero también será el delegado para establecer la comunicación entre estos dispositivos y por consiguiente, determinar los rangos de operación de los subsistemas que incluyen a elementos primarios de medición, de transmisión y control, alarmas y monitoreo del comportamiento en tiempo real, con la finalidad de verificar que las secuencias propuestas en efecto se realicen correctamente y que en caso de presentar eventos o fallas sea notificado y se dé solución.

A partir de que las actividades hayan sido realizadas satisfactoriamente, se podrá iniciar la operación del sistema automatizado, en la tabla 18 se presentan los costos que devienen del sueldo de cada prestador de servicios mencionado tomando en cuenta un tiempo programado aproximado de 7 días, que tendrá que ser pagado en función de las actividades realizadas en el proyecto.

Costos de instalación			
Personal	Personal requerido	Sueldo por hora (\$)	Costo total por 7 días (\$)
Ingeniero mecánico	1	73.85	4,135.60
Electricista industrial	1	73.85	4,135.60
Técnico electricista	1	59.23	3,148.88
Ingeniero en control y automatización	1	113.85	6,375.60
Total			17,795.68

Tabla 18. Costos de instalación (elaboración propia).

3.3.1.3 Costos fijos e ingeniería

En esta sección se presentan los costos que se generaron a lo largo del desarrollo de la propuesta hasta el final de la misma, debido a que fue necesario contar con la infraestructura básica necesaria para la elaboración de la propuesta, estos gastos devienen

de la ocupación de un sitio de trabajo con equipo de cómputo y acceso a internet, servicio de telefonía misma que se usó para mantener comunicación con los proveedores, artículos de papelería variada, impresión y fotocopiado además de gastos operativos.

Es pertinente decir que los costos de ingeniería corresponden a la ganancia neta de los diseñadores e integradores de la propuesta, que para la elaboración de este trabajo son visibles en la tabla 20, sin embargo, este valor es confidencial y se debe tener en cuenta que para un caso práctico deberán de incluirse en la cotización final que se le entregará al cliente. En la tabla 19, se muestran los costos fijos a consideración de la propuesta.

Costos fijos			
Concepto	Costo mensual (\$)	Tiempo empleado (meses)	Subtotal (\$)
Renta de oficina	4,900.00	12	58,800.00
Pago de luz	550.00	12	6,600.00
Pago de teléfono e internet	650.00	12	7,800.00
Papelería	300.00	12	3,600.00
Gastos de operación	600.00	12	7,200.00
Total			83,200.00

Tabla 19. Gastos fijos considerados (elaboración propia).

3.3.1.4 Costo total

Una vez que se han obtenido y calculado los costos que serán necesarios para la implementación de la propuesta, se procede a mostrar la sumatoria de los conceptos considerados en la sección de análisis de costos, cabe recalcar que el costo total aproximado corresponde al diseño, construcción e implementación, considerando las especificaciones descritas a lo largo de la propuesta. En la tabla 20, se ilustra lo anterior.

Costo total	
Concepto	Costo (\$)
Equipo y materiales	143,030.43
Instalación	17,795.68
Diseño	83,200.00
Ingeniería	85,720.63
Total	329,746.74

Tabla 20. Costo total propuesto (elaboración propia).

El costo total, será entonces la tentativa de precio para implementar la propuesta, que será estipulada en la cotización final que se presente al cliente, en el apartado siguiente se presenta el análisis costo beneficio.

3.3.2 Análisis costo beneficio

Uno de los impactos que tendrá el presente trabajo, es incrementar la producción del envasado de cacahuate en 2 líneas de producto, optimizando los índices de rendimiento, eliminando los errores humanos que se generan en el proceso manual y reduciendo los costos de producción. Al integrar los sistemas de control automático con arreglos electromecánicos propuestos que se detallan en el capítulo 3 de este trabajo, es posible reducir el costo final del proyecto al no necesitar tecnologías neumáticas en el proceso de envasado que incluyen mantenimiento de instrumentos y la necesidad de agregar compresores a la instalación que aumentan el consumo de energía.

Además, al sumar la capacidad de envasar 2 productos con volúmenes y pesos distintos se aumentará la tasa de producción actual, mejorando las condiciones de calidad actuales con las que se envasa el cacahuate, evitando la merma de producto y reduciendo los tiempos de operación en el proceso de dosificación, sellado y corte entre otras actividades.

A continuación, se presenta el análisis costo-beneficio si se llegase a construir la propuesta del presente trabajo, es importante mencionar que algunos de los valores mostrados serán

estimados, ya que el dato exacto se desconoce por la naturaleza de su origen al ser información restringida al público en general.

En la tabla 21, se observa la comparación de la cantidad de producto envasado en el estado actual y en caso de implementar la propuesta, recordando que el tamaño del envase es ajustable y que pueden envasarse 2 productos con diferencias de peso a la vez, esto con la finalidad de que si se opera la máquina al máximo de su capacidad y con ambas líneas operando se encontrarán los mejores resultados. También cabe resaltar que para establecer una tendencia promedio de la cantidad en gramos por porción, ya que la cantidad es ajustable, se ha decidido que para este análisis cada envase tenga al menos 200 gramos de cacahuete.

Comparación de producción de envasado de cacahuete		
Tiempo de producción	Envases producidos por minuto actualmente	Envases producidos por minuto implementando la propuesta
1 minuto	30	120
1 hora	1800	7200

Tabla 21. Comparación de la producción actual contra la propuesta de diseño (elaboración propia).

En la comparación anterior es notable la mejoría y superioridad en la producción de envases de hasta 4 veces más que el actual, se observa que en una hora de trabajo es posible envasar hasta 7200 bolsas que representan 1440 Kilogramos de cacahuete.

Para hacer aún más visible el beneficio de la propuesta, en la tabla 22, se presenta una comparativa para producir el lote de producto terminado de 7200 envases, para esta sección, es pertinente, por lo tanto, tomar en cuenta el tiempo necesario que le toma al operador de la máquina el intercambio de producto en la tolva una vez que se haya terminado y demás actividades que intervienen en este proceso.

Tiempo aproximado para producir 7,200 envases		
Actividades por realizar	Proceso actual (minutos)	Proceso implementando la propuesta (minutos)
Agregar producto en la tolva	10	10
Introducir rollo de film preformado	22	6
Encender el equipo y ajustar parámetros del lote de producción	5	5
Dosificación del producto	63	12
Ajuste del largo del envase	60	12
Proceso de sellado y corte de la bolsa	80	15
Tiempo total empleado para producir el lote	240	60

Tabla 22. Tiempo aproximado para producir 7,200 envases (elaboración propia).

En la producción de 7,200 envases de producto terminado, existe una reducción de tiempo estimada de alrededor del 30%, esto es 3 horas con respecto al proceso actual. Por lo anterior, si se desea extender el rango de productividad de la producción a un día, mes o año de trabajo por completo, entendiendo que de acuerdo con la demanda de producción que tenga el productor será también la necesidad de utilizar una o ambas líneas de envasado, únicamente será necesario multiplicar el dato del tiempo total para producir el lote por cuatro, de manera tal que en la tabla 23, se visualiza esta relación entre los datos actuales y la implementación de la propuesta.

Cálculo de producción actual e implementando la propuesta				
Tiempo	Minutos laborables	Producción actual (toneladas)	Producción implementando la propuesta (toneladas)	Incremento de producción (toneladas)
1 día	1440	8.64	34.56	25.92
1 mes	43200	259.20	1036.80	777.60
1 año	518400	3110.40	12441.60	9331.20

Tabla 23. Cálculo de producción actual e implementando la propuesta (elaboración propia).

Los datos que arroja la tabla 23, demuestran una vez más que si se acelera el proceso de envasado en la producción de cacahuate, el productor tendrá un aumento de 4 veces su tasa actual, al visualizar y ampliar el rango a 1 mes y 1 año por completo la diferencia es aún mayor, es evidente que para determinar los beneficios económicos que derivan de ello es necesario el conocer los costos operativos y el tipo de la empresa que se está tomando como referencia para el análisis, por consiguiente se enlista esta información que ayudará a ver con claridad los puntos anteriores.

El Diario Oficial de la Federación (DOF), en su artículo “reglas de operación del fondo nacional emprendedor para el ejercicio fiscal 2017”¹⁵¹, establece una clasificación para determinar el tamaño de una empresa, esta clasificación se aprecia en la tabla 24.

Clasificación de las empresas de acuerdo con el DOF				
Tamaño	Sector	Rango de número de trabajadores	Monto de ventas anuales (millones de pesos)	Tope máximo combinado
Micro	Todas	Hasta 10	Hasta \$4	4.6
Pequeña	Comercio	Desde 1 hasta 30	Desde \$4.01 hasta \$100	93
	Industria y servicios	Desde 11 hasta 50	Desde \$4.01 hasta \$100	95
Mediana	Comercio	Desde 31 hasta 100	Desde \$100.01 hasta \$250	235
	Servicios	Desde 51 hasta 100		
	Industria	Desde 51 hasta 100	Desde \$100.01 hasta \$250	250

Tabla 24. Clasificación de las empresas de acuerdo con el DOF (elaboración propia).

¹⁵¹ Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5468221&fecha=30/12/2016, fecha de consulta 15 de Mayo del 2020.

Tomando en cuenta la información de la tabla 24, la empresa tomada como base para este trabajo, se puede clasificar de acuerdo con su facturación como pequeña, ya que al facturar mensualmente una cantidad aproximada de 172,800 pesos mensuales que equivalen a 20.736 millones de pesos al año y contar con un número de trabajadores menor a 30. Por lo que, de acuerdo con la facturación de la empresa no se considera necesario solicitar un préstamo para realizar la inversión en la presente propuesta.

Para determinar la rentabilidad de implementar la propuesta, se considerarán los siguientes datos de la empresa:

- Turnos de trabajo por día: 1.
- Duración de los turnos de trabajo: 8 horas.
- Días laborales semanalmente: 7.

Con ayuda de los datos mostrados y a partir de los datos obtenidos en la tabla 23, se calcularon los beneficios del proceso actual, considerando los costos de operación como un 40% de los ingresos. Los ingresos corresponden a cada periodo de tiempo, los cuales, tal y como se mencionó, se estiman en 172,800 pesos mensuales. En la tabla 25, se muestra dicho cálculo.

Cálculo de la ganancia en el proceso actual de envasado de cacahuete				
Tiempo	Producción actual (toneladas)	Costos de operación actuales (\$)	Ingresos actuales (\$)	Beneficios actuales (\$)
1 día	8	2,304.00	5,760.00	3,456.00
1 mes	259	69,120.00	172,800.00	103,680.00
1 año	3110	829,440.00	20,736,000.00	12,441,160.00

Tabla 25. Cálculo de la ganancia en el proceso actual (elaboración propia).

A su vez, se realiza el cálculo correspondiente a los beneficios que traería consigo la implementación de la propuesta en el envasado de cacahuete para los tiempos preestablecidos del análisis.

Cálculo de Ingresos implementando la propuesta		
Tiempo	Producción implementando la propuesta (toneladas)	Ingresos implementando la propuesta (\$)
1 día	34	24,480.00
1 mes	1036	691,200.00
1 año	12441	82,950,667.52

Tabla 26. Cálculo de Ingresos implementando la propuesta (elaboración propia).

Para mostrar los beneficios de la implementación de la propuesta se realiza el análisis de costo y beneficio, en donde se obtendrán los costos de inversión y operación, el tiempo de recuperación de la inversión y finalmente la relación costo-beneficio del análisis.

3.3.2.1 Retorno de inversión en el envasado de cacahuate

Para finalizar el capítulo, este apartado se establece la ganancia neta del proyecto si llegase a venderse la propuesta en donde, para determinar la rentabilidad de la propuesta se toman los costos del primer mes de inversión, que sería el costo total del proyecto estipulado en 329,746.74 pesos, y posteriormente se mantienen los costos de producción originales aproximados en los siguientes meses de trabajo que son de 69,120 pesos actualmente.

Por lo tanto, al producir 1036 toneladas de producto terminado en 1 mes de operaciones con la propuesta de diseño de la máquina automatizada, que reflejarían un ingreso de 691,200 pesos, se tendría un beneficio o ganancia de 361,453.26 pesos, esto quiere decir que de implementarse la propuesta, el cliente empezaría a generar ganancia desde el primer mes de producción, ya que la inversión realizada se recuperara de inmediato, pues con la producción incrementada en 4 veces la actual sería posible lo anterior mencionado.

Para finalizar, en la tabla 27 se presenta una comparativa de beneficios netos por 1 año del proceso actual contra el proceso de envasado implementando la presente propuesta, a manera de visibilizar la rentabilidad.

Comparativa de beneficios anuales actuales e implementando la propuesta de envasado			
Beneficios actuales netos anuales (\$)	Beneficios netos anuales implementando la propuesta (\$)	Aumento anual implementando la propuesta (\$)	Aumento anual implementando la propuesta (%)
12,441,160.00	82,121,227.52	7,464,960.00	40.00

Tabla 27. Comparativa de beneficios anuales actuales e implementando la propuesta de envasado (elaboración propia).

Es importante puntualizar que la información que ha sido calculada en el capítulo actual es una proyección de la rentabilidad y costo aproximado del proyecto, para conocer los datos exactos de cada concepto, sería necesario establecer una comunicación con la empresa que ha sido comparada en este trabajo, y por la naturaleza de este son desconocidos al no ser mostrados al público en general.

A lo largo del apartado, toma peso finalmente las cuestiones financieras que son fundamentales en cualquier proyecto y que en ocasiones suelen ser el factor decisivo a la hora de la elección entre adquirir un producto u otro, pero también para decidir si un proyecto debería realizarse por el hecho de generar una ganancia redituable, y como se observó en la propuesta presente, es más que factible la implementación ya que se aumenta la producción y se generan ganancias de inmediato recuperando la inversión inicial, por lo tanto, esta es la importancia de abordar el aspecto económico como herramienta para la evaluación de la propuesta de diseño de la máquina de envasado de cacahuete.

Conclusiones

En relación con lo elaborado en la propuesta de diseño de una máquina automática para el envasado de dos productos diferentes de cacahuete, donde a partir de una observación, una comparación y una selección se ha concluido que los objetivos propuestos en un principio son conseguidos, donde de manera general se logra diseñar una máquina de envasado automática a partir de diversos dispositivos eléctricos y mecanismos que en conjunto logran aumentar la producción de unidades en una pequeña empresa.

Esto definido desde un principio en las generalidades de la propuesta donde se estableció las diferencias que se tenían con los sistemas actuales, y de este modo presentar una serie de diseños que lograrán realizar los accionamientos necesarios mediante el uso de elementos eléctricos, contemplando el lugar de aplicación de la propuesta, el cual definía los parámetros necesarios con los que debía cumplir el diseño. Primeramente, analizando el proceso de envasado determinando el tipo de dosificación que podría implementarse para envasar dos productos diferentes usando un solo actuador, así como el tipo de tolva en el cual pudieran ser almacenados ambos productos.

Para las dimensiones del sistema dosificador, se investigaron las presentaciones más comunes de los envases con el fin de establecer la distancia de recorrido del sistema de ajuste volumétrico, posteriormente el diseño de los mecanismos de sellado y los sistemas de arrastre permitirían generar los envases con las especificaciones del material de envasado, así como de la longitud del envase de manera independiente para cada línea de envasado.

De esta forma fue posible establecer criterios para el correcto funcionamiento de la máquina mediante un sistema de instrumentación basado en sensores que indicaran los aspectos bajo los cuales la máquina podría operar, estas condicionantes fueron consideradas dentro de la programación del sistema donde era importante señalar que la falta de alguno de los consumibles como el producto o el material de envasado debían ser indispensables para generar unidades y de lo contrario el sistema debía detenerse.

Con el diseño de las subrutinas de los mecanismos en la programación del controlador pudo diseñarse la interfaz, pues el tiempo del sistema de arrastre en cada tubo dependían de los valores de peso solicitado, por lo cual era indispensable establecer el algoritmo encargado de aumentar o disminuir la velocidad de los motores antes de ingresar el valor, y así bajo los tiempos de accionamiento de los sistemas de sellado los envases pudieran formarse en el momento en que estos eran activados.

Por lo cual la propuesta de diseño satisface las cantidades de producción en comparación con las que se tiene en el proceso, además sustituir el proceso manual que se menciona en el capítulo 2 y mediante un análisis económico, se refleja que la inversión en el proyecto puede ser cubierta en un tiempo corto de aproximadamente 1 mes, aun con el proceso que se maneja actualmente y con ello obtener ganancias en muy poco tiempo sin un riesgo alto debido al aumento en la producción de la unidades lo que genera ingresos mayores.

Bibliografía

- Fidas G. Arias (2012). Proyecto de la Investigación. 6° Edición, Caracas, Ed Episteme. Versión electrónica disponible en: <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-6ta-Ed.-FIDIAS-G.ARIAS.pdf>, fecha de consulta 03 de Noviembre de 2019.
- Leonel G. Corona Ramírez (2015). Sensores y actuadores. Ciudad de México, Ed. PATRIA.
- Robert L. Mott (2006). Diseño de elementos de máquinas. 4a edición, Ciudad de México. Ed. Pearson. Pág. 796.
- Antonio Creus Solé (2010). Instrumentación industrial. 8ª Edición, Ciudad de México, Ed. Alfaomega.
- Katsuhiko Ogata (1998). Ingeniería de control moderna. 3ª Edición, Naucalpan de Juárez, Ed. Prentice Hall Inc.
- <https://www.gustherpack.com/envasado-de-granulados.html>, fecha de consulta 12 de Octubre de 2019.
- http://www.packaging.enfasis.com/articulos/75692-la-evolucion-el-diseno-la-maquina-ensado?utm_source=emBlue%20Email%20Marketing%20&utm_medium=Email&utm_campaign=emBlue%20%20-%20, fecha de consulta 11 de Octubre de 2019.
- <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-stick-pack/la-maquina-stickpack-para-productos-de-flujo-libre-azucar-sal/>, fecha de consulta 3 de Noviembre de 2019.
- <https://www.definicionabc.com/ciencia/hipotesis.php>, fecha de consulta: 11 de Noviembre de 2019.
- <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-ensado-vertical/maquinas-de-ensado-vertical-vff-para-productos-de-grano-llenado-de-vasos-volumetricos/>, fecha de consulta 11 de Noviembre de 2019.
- http://www.packaging.enfasis.com/articulos/75692-la-evolucion-el-diseno-la-maquina-ensado?utm_source=emBlue%20Email%20Marketing%20&utm_medium=Email&utm_campaign=emBlue%20%20-%20, fecha de consulta 13 de Noviembre de 2019.
- <https://www.pmmi.org.mx/noticia/detalle/id/234>, fecha de consulta 13 de Noviembre de 2019.

- <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/22246/1/Rehabilitacion%20de%20una%20maquina%20automatica%20de%20frituras.pdf>, fecha de consulta 20 Noviembre de 2019.
- <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/18693/1/Prototipo%20de%20una%20m%C3%A1quina%20autom%C3%A1tica%20para%20pesar%20y%20embolsar%20az%C3%BAcar.pdf>, fecha de consulta 21 de Noviembre de 2019.
- <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12587>, fecha de consulta 21 de Noviembre de 2019.
- <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/12595>, fecha de consulta 21 de Noviembre de 2019.
- <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-ensado-vertical/maquinas-de-ensado-vertical-vffs-para-productos-de-grano-llenado-de-vasos-volumetricos/>, fecha de consulta 21 de Noviembre del 2019.
- http://intertec.com.co/productos/empacadoras_verticales/Empacadora_Vertical_eco_PE_laminados.php, fecha de consulta 21 de Noviembre del 2019.
- <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-stick-pack/la-maquina-stickpack-para-productos-de-flujo-libre-azucar-sal/>, fecha de consulta 03 de Noviembre del 2019.
- <https://www.turpack.com/es/packaging-machine/maquinas-de-stick-pack/la-maquina-stickpack-para-productos-de-flujo-libre-azucar-al/>, fecha de consulta 03 de Noviembre del 2019.
- <https://www.quiminet.com/articulos/definicion-de-envase-ensado-empaque-y-embalaje-15316.htm>, fecha de consulta 10 de Diciembre de 2019.
- <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Cacahuete-un-mercado-interno-insatisfecho-20140603-0005.html>, fecha de consulta 10 de Diciembre de 2019.
- <http://www.ambpackaging.com/es/tecnologia/1/FFS.html>, fecha de consulta 15 de Diciembre del 2019.
- <https://www.mcr.es/que-es-la-dosificacion-industrial/>, fecha de consulta 15 de Diciembre del 2019.
- <https://blog.infaimon.com/ensadoras-definicion-y-funciones-principales/>, fecha de consulta 15 de Diciembre del 2019.
- <http://www.coperionktron.com.es/process-equipment/feeders/technology/gravimetric-feeders-overview.cfm>, fecha de consulta 16 de Diciembre de 2019.

- <http://www.plastico.com/temas/En-que-se-diferencian-los-sistemas-de-dosificacion-volumetricos-de-los-gravimetricos>, fecha de consulta 25 de Diciembre de 2019.
- <https://www.pt-mexico.com/knowledgecenter/Mezclado/Fundamentos-de-dosificacion/Comparando-Tecnologiasde-dosificacion>, fecha de consulta 25 de Diciembre de 2019.
- <https://www.tecnoembalaje.com/dosificadores/346-dosificador-piston-100cc-alta-viscosidad.html>, fecha de consulta 27 de Diciembre de 2019.
- <http://www.packspainsl.com/portfolio/dosificador-volumetrico-vasos/>, fecha de consulta 27 de Diciembre de 2019.
- <http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/01/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>, fecha de consulta 29 de Diciembre de 2019.
- <http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/01/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>, fecha de consulta: 29 de Diciembre del 2019.
- <https://www.iqingenieria.com/single-post/Concepto-Fluidizacion-en-Silos-o-Tolvas>, fecha de consulta 29 de Diciembre de 2019.
- <http://fortuver.com/>, fecha de consulta 29 de Diciembre del 2019.
- <http://www.innoenvas-packaging.com/envasadoras-stickpack.html>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.
- <https://envasados.es/tipos-de-film-para-envases/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.
- <https://publipak.com/productos/industriales/polietileno-de-alta-y-baja-densidad/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.
- <https://envasados.es/tipos-de-film-para-envases/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.
- <https://envasados.es/7-ventajas-envasado-formato-stick-pack/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.
- <https://www.turpack.com/stickpack/>, fecha de consulta 03 de Enero del 2020.
- <http://irtagroup.com/bolsas/fondo-estable-4-soldaduras/>, fecha de consulta 05 de Enero del 2020.
- <https://www.lamexicanabremen.de/es/startseite/752--cacahuates-japoneses-manzela-150gr.html>, fecha de consulta 10 de Enero del 2020.
- <https://www.gasparini.com/es/blog/cual-es-mejor-acero-para-industria-alimentaria/>, fecha de consulta 11 de Diciembre de 2019

- https://es.made-in-china.com/co_changzengsteel/product_AISI-430-Ba-Kitchen-ware-Stainless-Steel-Sheet_rnihugssg.html, fecha de consulta 11 de Diciembre de 2019.
- https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/1_qu_son_los_mecanismos.html, fecha de consulta 11 de Diciembre del 2019.
- http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1102/html/3_bielamanivela.html, fecha de consulta 11 de Diciembre de 2019.
- <https://rockbotic.com/blog/maquinas-simples-biela-manivela/>, fecha de consulta 11 de Enero del 2019.
- <https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/42sistemasdepoleaycorrea.html>, fecha de consulta 11 de Enero de 2019.
- https://www.edu.xunta.es/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/43_engranajes.html, fecha de consulta 08 de Diciembre de 2019.
- <https://www.mecatronicalatam.com/tutorial/es/mecanica/mecanismos/engranaje>, fecha de consulta 08 de Diciembre de 2019.
- <https://www.metalmecanica-facil.mahtg.com/calculo-de-engranajes-cilindricos-helicoidales-sistema-milimetrico/>, fecha de consulta 08 de Diciembre del 2019.
- <https://www.mecatronicalatam.com/tutorial/es/mecanica/mecanismos/engranaje>, fecha de consulta 08 de Diciembre de 2019.
- <https://www.mecatronicalatam.com/tutorial/es/mecanica/mecanismos/engranaje>, fecha de consulta 08 de Diciembre de 2019.
- <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-proximidad-capacitivo/>, fecha de consulta: 20 de Enero del 2020.
- https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_inductivo, fecha de consulta 02 de Marzo del 2020.
- <https://www.grainger.com.mx/producto/SCHNEIDER-ELECTRIC-Sensor-Inductivo-de-Proximidad-Inductivo-de-5000-Hz-con-Distancia-de-Detecci%C3%B3n-m%C3%A1x-2-0mm/p/28J748>, fecha de consulta 03 de marzo del 2020.
- https://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_fotoel%C3%A9ctrico, fecha de consulta 02 de Marzo del 2020.

- <http://zensotec.com/fotocelda>, fecha de consulta 02 de Marzo del 2020.
- <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-corriente-continua/>, fecha de consulta: 20 de Enero del 2020.
- https://www.ecured.cu/Rotor_de_jaula_de_ardilla, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.
- <https://www.elgrantlapalero.com/motor-monofasico-de-1-hp-alta-siemens.html>, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.
- https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.
- <http://motores.nichese.com/motor%20cc.htm>, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.
- http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/velocidad_de_motores_electricos3.php, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.
- <https://blog.330ohms.com/2016/03/14/que-son-los-servomotores/>, fecha de consulta 10 de Marzo del 2020.
- <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/servomotor/>, fecha de consulta 10 de Marzo del 2020.
- <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>, fecha de consulta 10 de Marzo del 2020.
- <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-contactador-siemens/>, fecha de consulta 26 de Enero del 2020.
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9>, fecha de consulta 26 de Enero del 2020.
- <https://www.grupoimex.com.mx/product/relevador-encapsulado-60-12-9-024-0040-finder/>, fecha de consulta 26 de Enero del 2020.
- https://es.wikipedia.org/wiki/Rel%C3%A9_de_estado_s%C3%B3lido, fecha de consulta 10 de Marzo del 2020.
- <http://i2celectronica.com/rele-modulo-rele/305-rele-de-estado-solido-ssr-40a.html>, fecha de consulta 10 de Marzo del 2020.
- http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf, fecha de consulta 20 de Enero del 2020.
- <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/ingenieria-electrica/procesos-use-of-clip-to-completion-of-control-automatic-in-industrial>, fecha de consulta 5 de Febrero del 2020.

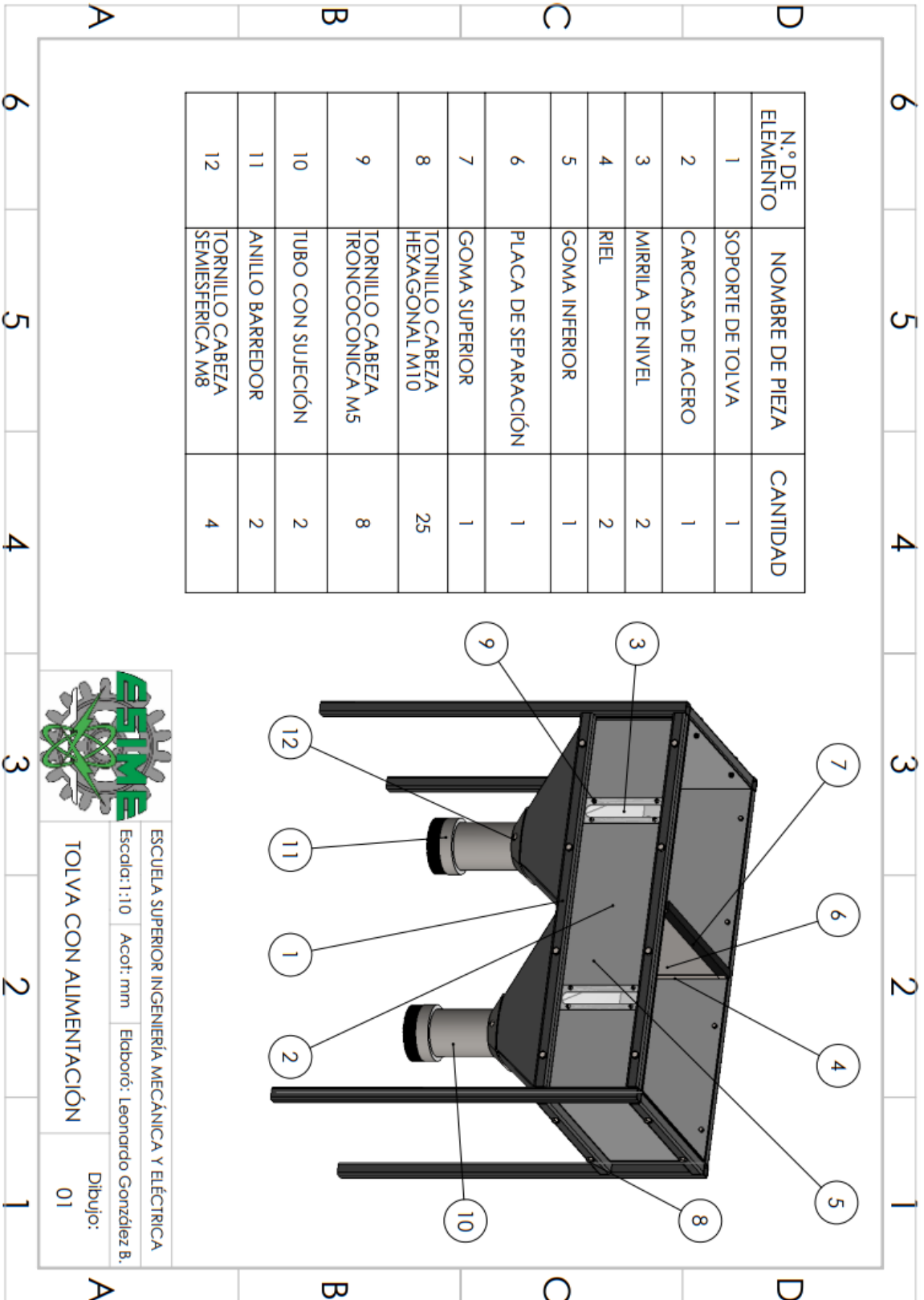
- <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>, fecha de consulta 5 de Febrero del 2020.
- <https://www.copadata.com/es/productos/interfaz-hombre-maquina-hmi/>, fecha de consulta 5 de Febrero del 2020.
- <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/industry-software/automation-software/tia-portal/software.html>, fecha de consulta 5 de Febrero del 2020.
- <https://www.infoplcn.net/noticias/item/254-siemens-explica-el-concepto-tia-portal-a-sus-clientes>, fecha de consulta: 5 de Febrero del 2020.
- <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html?fbclid=IwAR2svNVT6Vq-OpvBuxvxsGe-VkTosb3LBshzk9INeWFHWr-DIOxMpOFRoDc>, fecha de consulta 28 de Enero de 2020.
- <https://afel.cl/producto/termocupla-tipo-k-1mt/>, fecha de consulta 29 de Enero de 2020.
- <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019OkFSAU&l=es-ES>, fecha de consulta 28 de Enero del 2020.
- <https://honorpack.com/es/product/ensadora-almohada-en-acero-inoxidable-para-granulos-vfh-5-6-g420/>, fecha de consulta 13 de Febrero de 2019.
- http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4729065&fecha=15/08/1994&print=true, fecha de consulta 10 de Marzo de 2020.
- <http://www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm>, fecha de consulta 10 de Marzo de 2020
- http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_biela-manivela.htm, fecha de consulta 25 de marzo de 2020
- https://es.aliexpress.com/item/32358943700.html?spm=a2g0o.detail.1000015.1.7786351ckqMDWk&scm=1007.14452.151110.0&scm_id=1007.14452.151110.0&scm-url=1007.14452.151110.0&pvid=7cddd4fa-6706-4d9f-bf63-b4251ea2ef6c&ad_pvid=202005301650489668958221918978260663_0&fromDetail fecha de consulta 25 de Marzo del 2020.
- <https://solectroshop.com/es/modulos-rele/1285-rele-de-estado-solido-fotek-ssr-25-dd-12a-dc-dc-salida-5v-60vdc.html>, fecha de consulta 25 de Marzo del 2020.
- <https://es.slideshare.net/CarlosArmandoDeCastr/analisis-cinematico-y-cintico-de-mecanismo-de-manivelacorredera>, fecha de consulta 25 de marzo de 2020.
- <https://www.pololu.com/product/4686>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

- <http://docs.zdmotors.com/Induction-Motor-180W.pdf>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_biela-mani-vela.htm, fecha de consulta 25 de marzo de 2020
- <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>, fecha de consulta 6 de Abril del 2020.
- https://spanish.alibaba.com/product-detail/dm-82sw-4468-worm-gear-speed-reducer-motor-6081577016_2.html, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-552306440-kit-resistencia-y-teflon-de-repuesto-para-selladora-30-cm-pl-_JM, fecha de consulta 25 de Marzo del 2020.
- <https://www.embalajesterra.com/envasadoras/2019-correa-de-arrastre.html>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- http://docs.zdmotors.com/Brushless%20DC%20Gearmotor-BC7060.pdf?fbclid=IwAR3C2N7XmdljorCZLDZs7wllOoivX0qIWtnytP9IH08PM-NhWf2g-_H9u4c, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- https://p3solutionsblog.com/es/tag/envasadora_vertical/, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <http://docs.zdmotors.com/DC-Gear-Motor-60W.pdf>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.solucionesyservicios.biz/WebRoot/StoreES2/Shops/64466233/552E/B4E3/AA67/3B8F/761D/C0A8/2ABB/FDD8/6ES72141AG400XB0.pdf>, fecha de consulta 8 de abril de 2020.
- <https://www.se.com/es/es/product/REG48PUN1LHU/temperature-control-relay-reg--48-x-48-mm---100..240-v-ac---1-solid-state-relay/>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- https://www..com/es_ES/shop/product/is-ac24vdc10adin-din-rail-power-supply-ac-dc-240w-1-output-10a-at-24vdc-691?category=12, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.grainger.com.mx/producto/DAYTON-Transformador-de-Control%2C-Clasificaci%C3%B3n-VA-150VA%2C-Voltaje-de-Entrada-120VCA%2C-Voltaje-de-Salida-12-24VCA/p/4MTP6?analytics=alternateProducts#additionalInfoSection>, fecha de consulta 5 de abril de 2020.
- <https://www.autonics.com/series/3000425>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.

- <https://www.autonics.com/series/3000890>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.se.com/ww/en/product/SSM1D26BD/solid-state-modular-relay%2C-6-a%2C-dc-switching%2C-input-4...32-v-dc%2C-output-1%E2%80%A660-v-dc/?range=60278-harmony-solid-state-relays>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.se.com/es/es/product/CA2SK11F7/contactor-auxiliar-tesys-ca2sk---27mm-1na%2B1nf-110vca/?range=767-tesys-k%2C-d%2C-sk-%28contactores-auxiliares%29&node=12661005502-control-relay&filter=business-1-automatizaci%F3n-y-control-industrial&parent-subcategory-id=3010>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.se.com/es/es/product/GB2CD08/disjuntor-tesys-para-circuitos-de-comando---gb2-cd-%E2%80%93-3-a---1-p%C3%B3lo%2Bn---1d/?range=670-tesys-gb2>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.se.com/es/es/product/DF81N/tesys-porta-fus%C3%ADvel-1p-n-25a---tamanho-fus%C3%ADvel-8.5-x-31.5-mm/>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.se.com/cl/es/product/NSYCRN43200/%22gabinete-crn-puerta-lisa---400-x-300-x-200mm-%22/?range=2535-spacial-crn&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial&parent-subcategory-id=88376>, fecha de consulta 05 de Abril del 2020.
- <https://www.se.com/cl/es/product/NSYCRN64250/%22gabinete-crn-puerta-lisa---600-x-400-x-250mm-%22/?range=2535-spacial-crn&filter=business-1-automatizaci%C3%B3n-y-control-industrial&parent-subcategoryid=88376>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.se.com/mx/es/product/NSYTRV22/bloque-de-terminales-de-paso---2%2C5-mm%C2%B2-24-a-nivel-%C3%BAnico-1x1-tornillo---gris/?range=570-bor-nes-de-conexi%C3%B3n-linergy-tr>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://www.grainger.com.mx/producto/SCHNEIDER-ELECTRIC-Riel-de-Mon-taje%2C-Tipo-Riel-DIN-35mm%2C-Profundidad-0-30%22/p/6CUR2?analytics=searchResults#>, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- https://www.tamex.mx/products/078-dxn10062?gclid=CjwKCAjwZf3BRA-BEiwA8Q0qq0FQ_p2xxLdlQelx tzL1cIIA04yVEuRePT0Dngq-OBi4WVq84rp5iRo-CqkoQAvD_BwE, fecha de consulta 5 de Abril del 2020.
- <https://concepto.de/costo/>, fecha de consulta 20 de Mayo de 2020.

Anexos

Anexo 1. Ensamble de tolva con alimentación (elaboración propia)

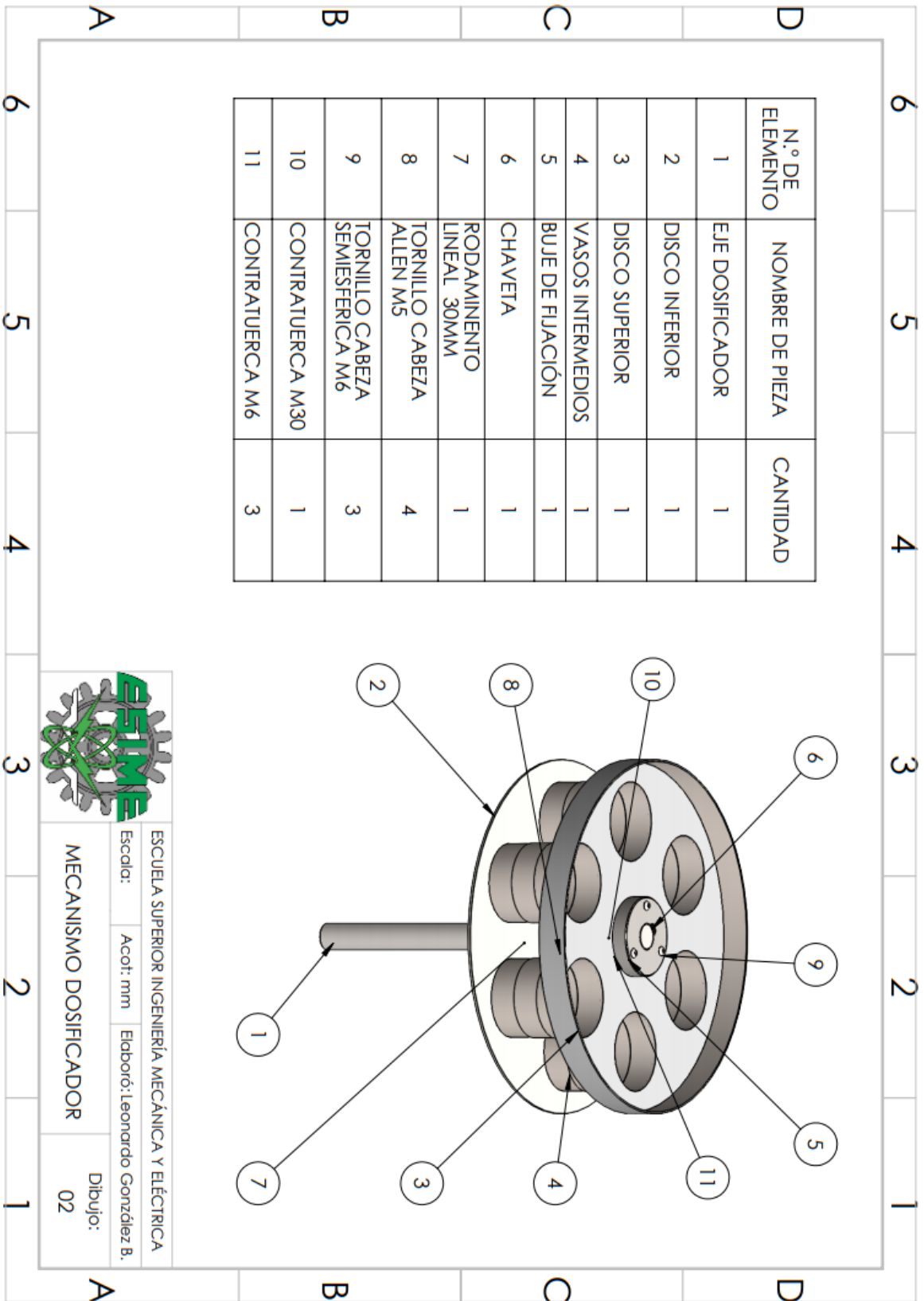


ESCUOLA SUPERIOR INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
 Escala: 1:10 Acot: mm Elaboró: Leonardo González B.

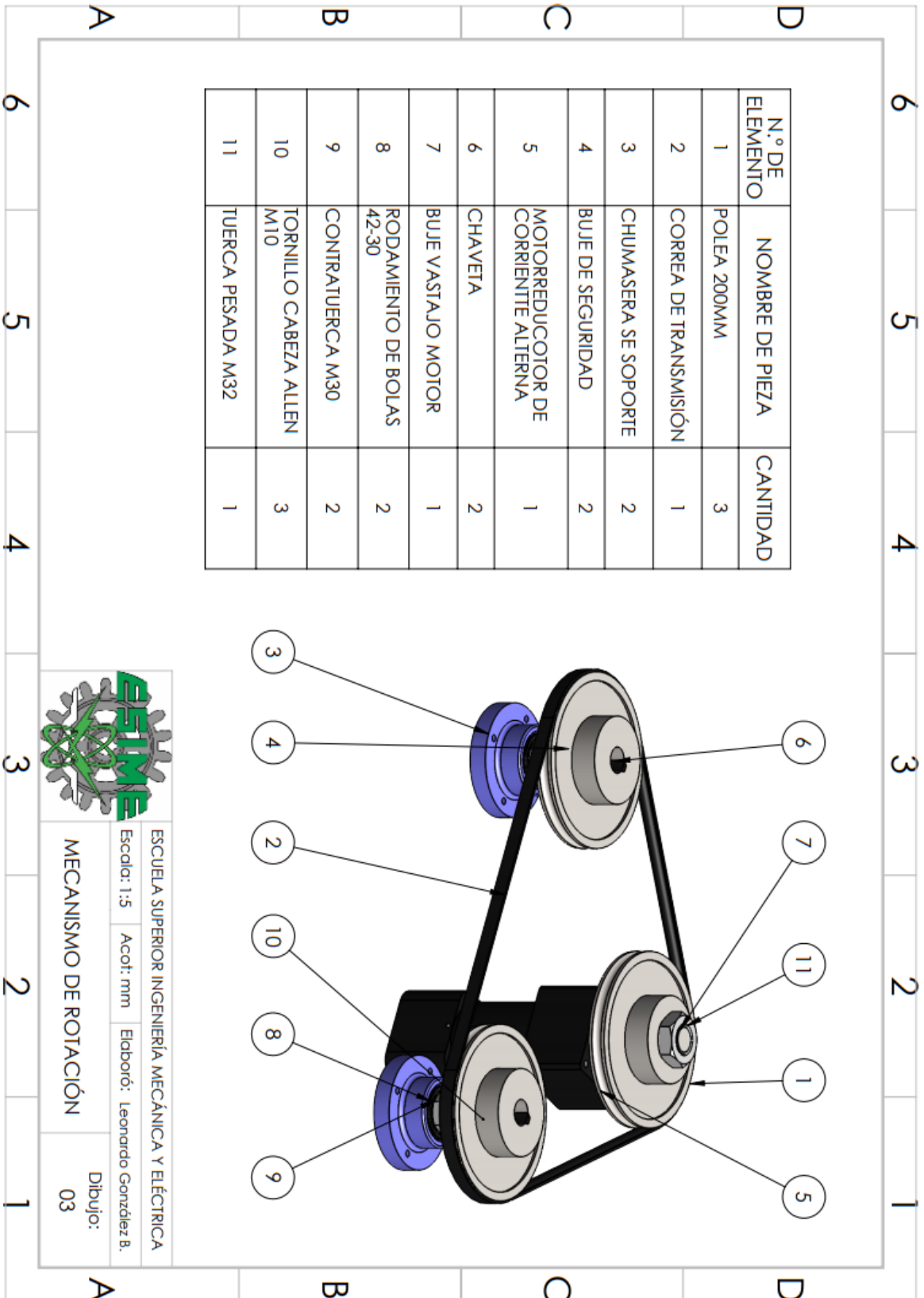
TOLVA CON ALIMENTACIÓN

Dibujo:
01

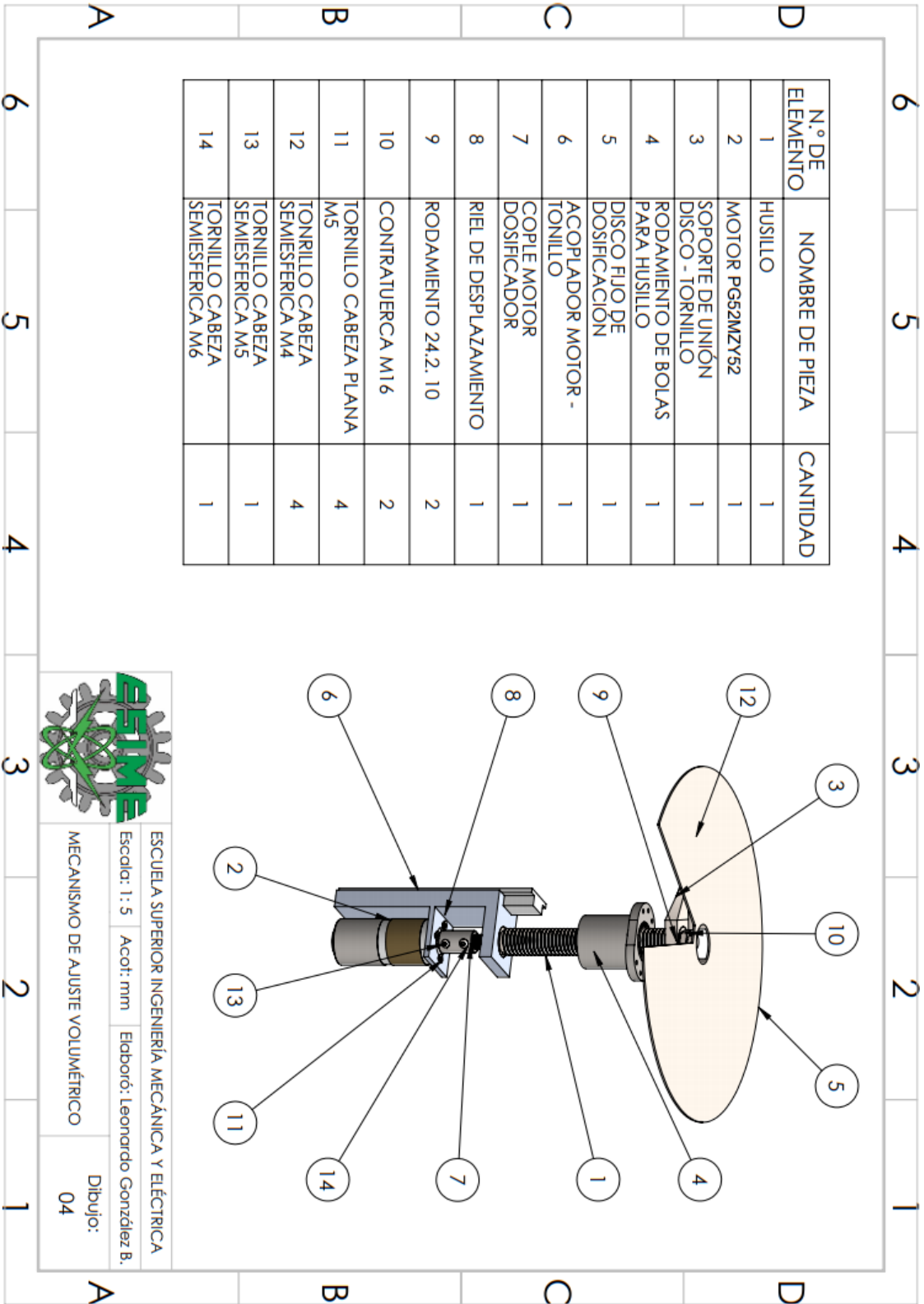
Anexo 2. Ensamble del mecanismo de dosificación (elaboración propia)



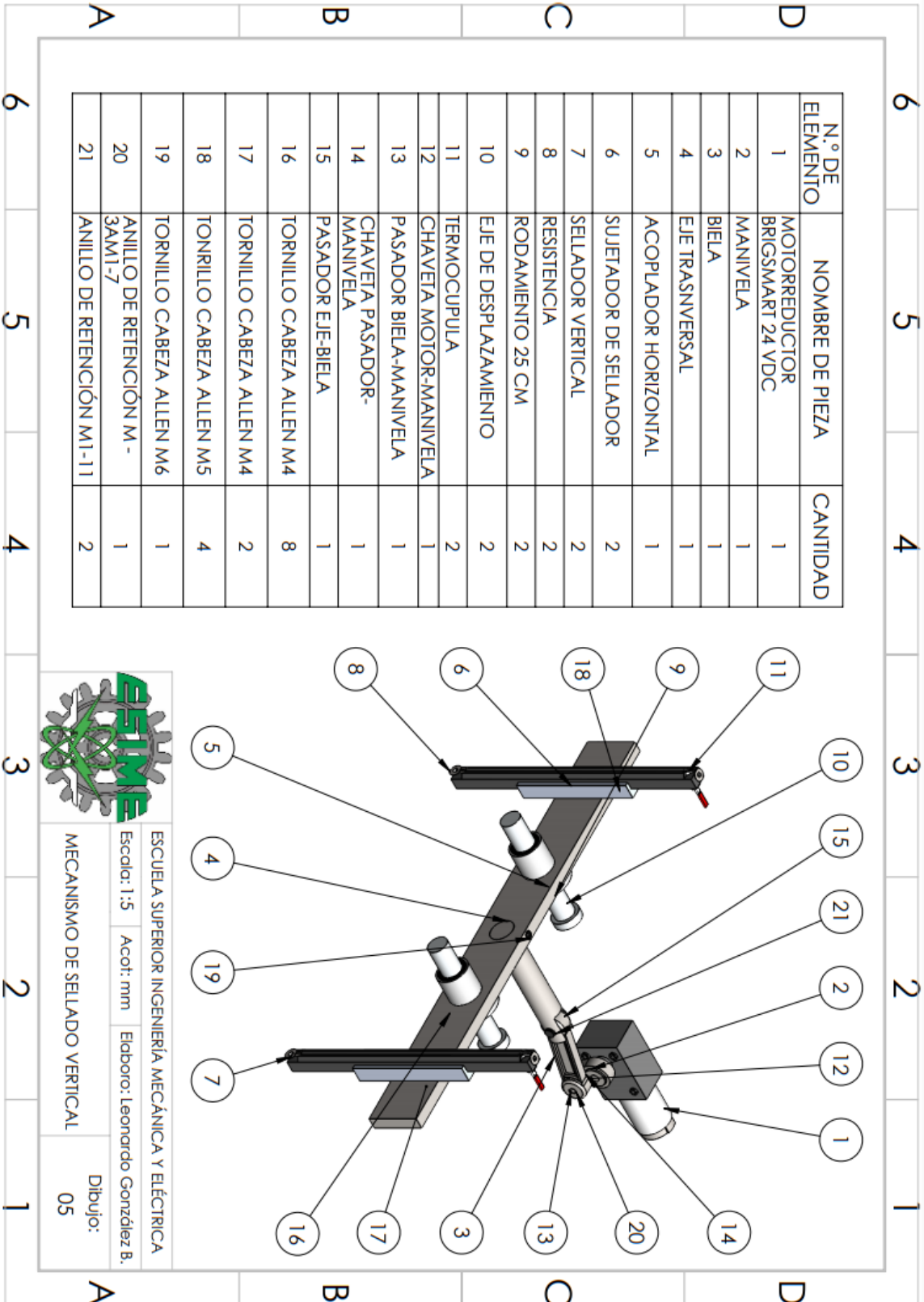
Anexo 3. Ensamble del mecanismo de rotación (elaboración propia)



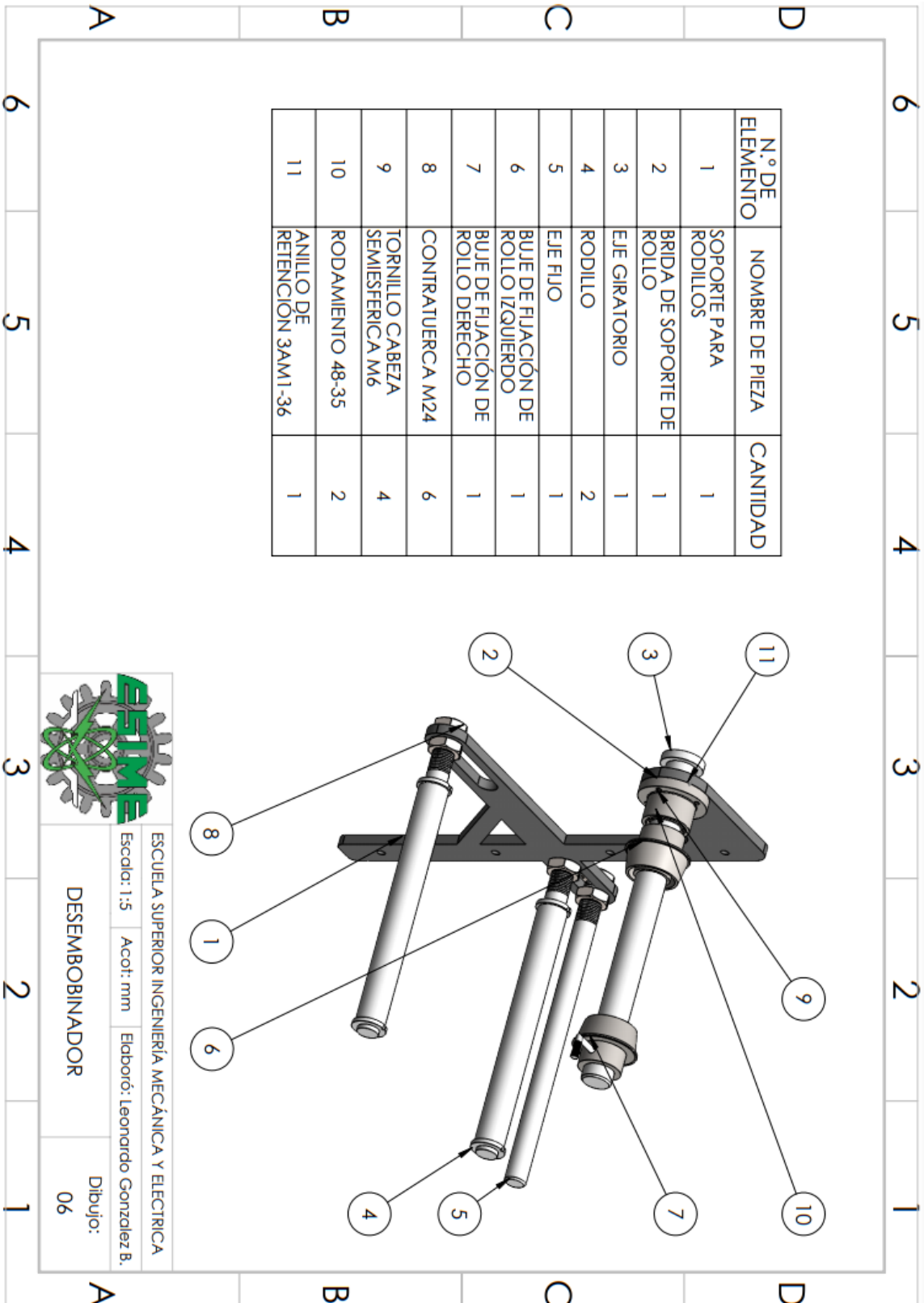
Anexo 4. Ensamble del mecanismo de ajuste volumétrico (elaboración propia)



Anexo 5. Ensamble del mecanismo de sellado vertical (elaboración propia)



Anexo 6. Ensamble del mecanismo desembobinador (elaboración propia)



ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA


Escala: 1:5 Acot: mm Elaboró: Leonardo Gonzalez B.

DESEMBOBINADOR

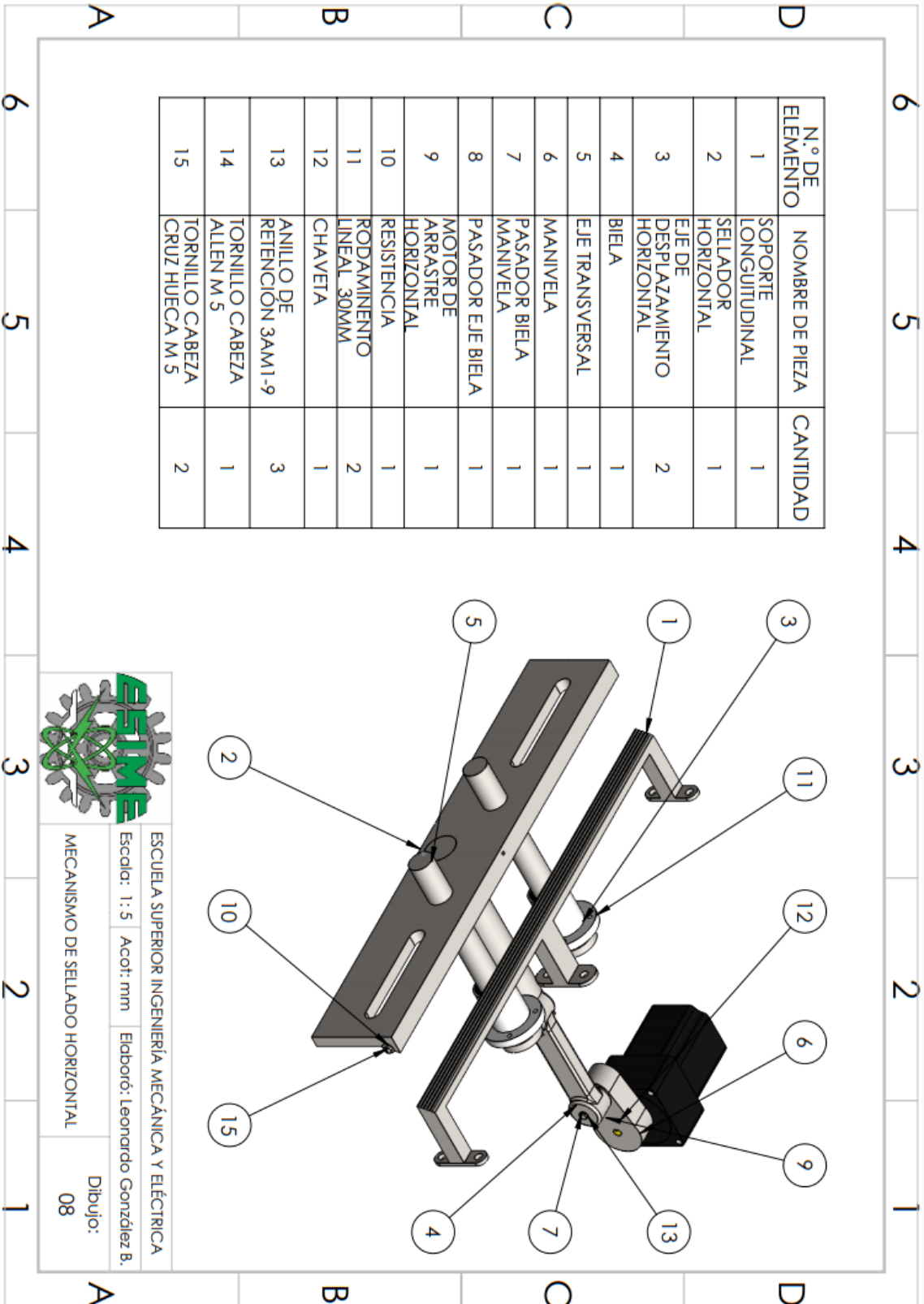
Dibujo:
06

Anexo 7. Ensamble del mecanismo de arrastre (elaboración propia)





D		C		B		A	
6		5		4		3	
6		5		4		3	
N.º DE ELEMENTO		N.º DE PIEZA		CANTIDAD			
1	MOTOR DE ARRASTRE			1			
2	BUJE DE UNIÓN MOTOR - EJE			1			
3	EJE INFERIOR IZQUIERDO			1			
4	VASTAGO SUPERIOR			2			
5	POEIA DENTADA INFERIOR			2			
6	CORREA DENTADA			2			
7	CORREA DE FRICCIÓN			2			
8	POLEA DENTADA SUPERIOR			2			
9	CHUMASERA INTERIOR DERECHA			1			
10	EJE INFERIOR DERECHO			1			
11	SOPORTE SUPERIOR			2			
12	ENGRANES DE TRANSMISIÓN			2			
13	SOPORTE INFERIOR			2			
14	ANILLO DE RETENCIÓN 3AM1-10			6			
15	RODAMIENTO 59-10 -			1			
16	RODAMIENTO 0120-18			4			
17	RODAMIENTO 0090-20			4			
18	TORNILLO CABEZA SEMIESFÉRICA M 8			2			
19	TORNILLO CABEZA SEMIESFÉRICA M 5			2			
20	CONTRATUERCA M 10			2			

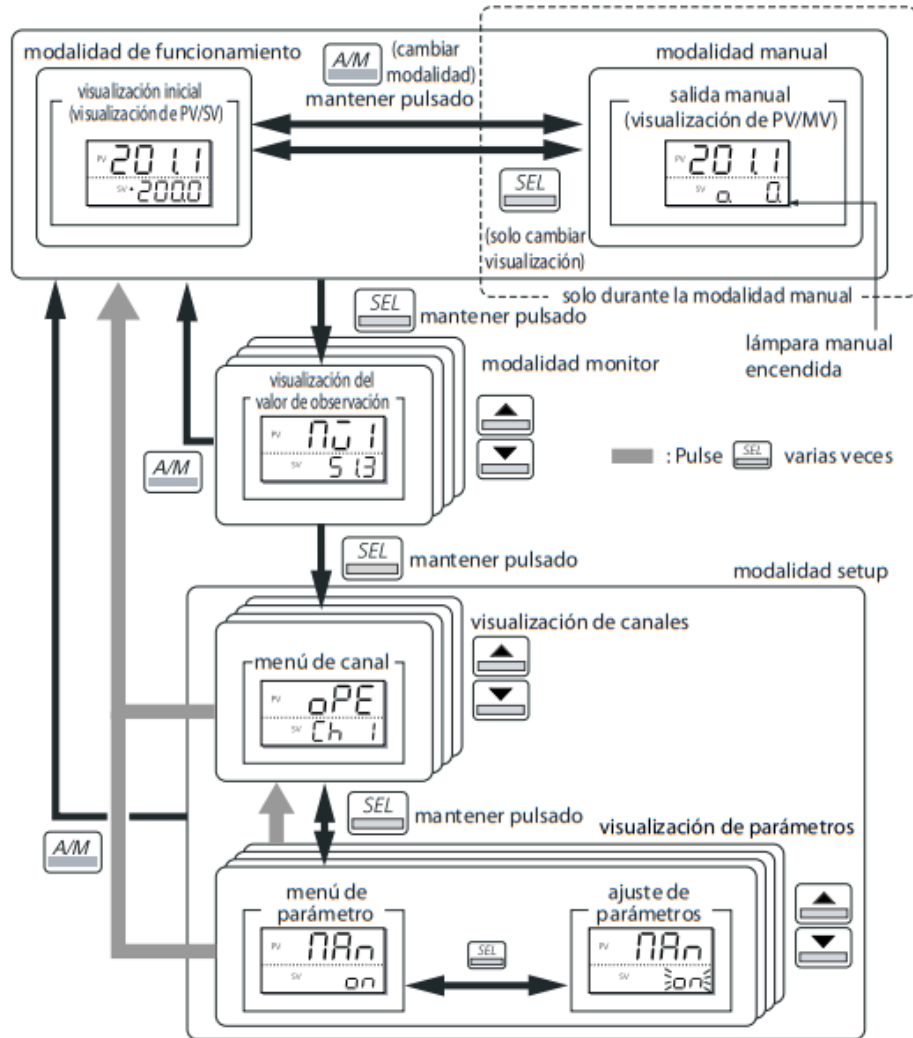
		ESCUELA SUPERIOR INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA	
Escala: 1:10	Acot: mm	Elabora: Leonardo González B.	
MECANISMO DE ARRASTRE			Dibujo: 07

Anexo 8. Ensamble del mecanismo sellado horizontal (elaboración propia)



Modificación de las modalidades

Al pulsar la tecla  o la tecla  se alterna entre las modalidades. Al pulsar las teclas  o  en la modalidad monitor o setup, se pueden elegir elementos de menú.






¹⁵² Disponible en: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=EIO0000001334.00.pdf&p_Doc_Ref=EIO0000001334, fecha de consulta 20 de Septiembre del 2020.

Operaciones básicas





Modificación de SV (valores establecidos)

Los valores establecidos se modifican en la modalidad Operational:

Paso	Acción
1	Pulse  para cambiar la visualización a la pantalla de PV/SV (que aparece cuando se activa la alimentación y el indicador de SV está encendido).
2	Cambie el valor SV con las teclas  y  . NOTA: El valor se guardará automáticamente.




Modificación de MV (valores de salida de control)

Los valores de salida de control se cambian en la modalidad Manual:

Paso	Acción
1	Pulse  para conmutar a la modalidad manual; la visualización cambiará a la pantalla de PV/MV (consulte Parámetros de funcionamiento (véase página 52)).
2	Si pulsa la tecla  en la modalidad manual se alterna entre la pantalla de PV/SV y la pantalla de PV/MV.
3	Cambie el valor MV con las teclas  y  (los cambios quedan reflejados en el valor MV a medida que se modifica). El indicador MAN/AT/SELF está encendido en la posición del dígito inferior en la pantalla de SV en la modalidad Manual. Aparece una o en el lugar decimal más alto en la pantalla de PV/MV.

Modalidad Monitor

En la tabla siguiente se indica cómo confirmar el estado del controlador comprobando cada valor:

Paso	Acción
1	Pulse y mantenga pulsada la tecla  para entrar en la modalidad monitor desde la modalidad operational o la modalidad manual display. NOTA: El dispositivo entrará en la modalidad monitor con [MV1] seleccionado.
2	Utilice las teclas  y  para desplazarse por la información.

Modalidad Setup

En la tabla siguiente se presenta cómo establecer los parámetros para el dispositivo:

Paso	Acción
1	Cuando esté seleccionada la modalidad Monitor con [MV1], pulse y mantenga pulsada la tecla (SEL) para entrar en la modalidad setup.
2	Pulse y mantenga pulsada la tecla (SEL) para entrar en el menú de canal en la modalidad setup.
3	Utilice las teclas (▲) y (▼) para seleccionar el canal que incluya los parámetros que desee cambiar.
4	Pulse y mantenga pulsada la tecla (SEL).
5	Utilice las teclas (▲) y (▼) para comprobar los parámetros y sus valores.
6	Cuando se muestre el valor del parámetro que desea cambiar, pulse la tecla (SEL) para cambiarlo. Resultados: el valor del parámetro parpadeará.
7	Cambie el valor con las teclas (▲) y (▼).
8	Pulse la tecla (SEL) para establecer el parámetro con el valor que desee. Resultados: el valor dejará de parpadear.

Configuración del controlador de temperatura

Configuración de entrada

En el menú de configuración **SEF CH88** se pueden establecer el tipo y el rango del sensor de entrada:

Paso	Acción
1	Seleccione un tipo de entrada (P_{UF}). Compruebe el tipo de termoelemento o el bulbo de resistencia utilizado.
2	Establezca el rango de entrada de escala de PV (P_{Ub}/P_{UF}). Establezca P_{vb} (véase página 61) en el límite inferior del rango de temperatura y P_{vf} (véase página 61) en el límite superior. Se recomienda establecer los valores en el rango estándar, aunque se pueden establecer en valores inferiores a este. No existe un rango estándar para la entrada de tensión de CC ni de corriente de CC (de -1999 a 9999, límite inferior < límite superior).
3	Establezca la ubicación del punto decimal (P_{Ud}). Establece si se muestran o no dígitos después del punto decimal. También se pueden mostrar dos dígitos después del punto decimal si se utiliza de 1 a 5 V CC y de 4 a 20 mA CC.

NOTA: Se puede utilizar la ubicación del punto decimal y la escala de PV con la configuración predeterminada de fábrica.

Rango de entrada y tabla de códigos

En la tabla siguiente se proporciona más información sobre los tipos de entrada, la escala de entrada, la ubicación del punto decimal y los códigos de entrada:

Tipo de entrada		Rango de medición [°C]	Rango de medición [°F]	Incremento de entrada más pequeño [°C]	Código de entrada
Bulbo de resistencia JIS (CEI)	Pt 100 Ω	0...150	32...302	0,1	1888
		0...300	32...572	0,1	
		0...500	32...932	0,1	
		0...600	32...1112	1	
		-50...200	-58...212	0,1	
		-100...200	-148...392	0,1	
		-150...600	-238...1112	1	
		-200...850	-328...1562	1	

Tipo de entrada		Rango de medición [° C]	Rango de medición [° F]	Incremento de entrada más pequeño [° C]	Código de entrada
Termoelemento	J	0...400	32...752	0,1	2 000
		0...1000	32...1832	1	
	K	0...400	32...752	0,1	3 000
		0...800	32...1472	0,1	
		0...1200	32...2192	1	
	R	0...1600	32...2912	1	4 000
	B	0...1800	32...3272	1	5 000
	S	0...1600	32...2912	1	6 000
	T	-200...200	-328...392	0,1	7 000
		-200...400	-328...752	0,1	
	E	0...800	32...1472	0,1	8 000
		-200...800	-328...1472	1	
	N	0...1300	32...2372	1	12 000
PL-2	0...1300	32...2372	1	13 000	
Tensión de CC	De 0 a 5 V CC	De -1999 a 9999 (rango en el que se permite el escalado)			15 000
	De 1 a 5 V CC				16 000
	De 0 a 10 V CC				17 000
	De 2 a 10 V CC				18 000
	De 0 a 100 mV CC				19 000
	Corriente de CC ¹				De 0 a 20 mA CC
De 4 a 20 mA CC		16 000			
1 Conecte una resistencia de 250 Ω cuando utilice una entrada de corriente de CC. Consulte el tema de cableado para obtener más información.					

Configuración de salida

En el menú de configuración $SEF [k] 0$ se puede establecer el rango de la salida de control (solo se aplica a la salida de corriente analógica):

Paso	Acción
1	Establezca el rango de la salida de control (OUT1/OUT2) ($[E] 1r/[E] 2r$). Seleccione entre de 0 a 20 mA o de 4 a 20 mA CC.

Configuración de los controles

- Funcionamiento inverso: a medida que aumenta el valor de proceso (PV), la salida de control (MV) disminuye. Se utiliza para calentar el objeto de control.
- Funcionamiento normal: a medida que aumenta el valor de proceso (PV), la salida de control (MV) aumenta. Se utiliza para enfriar el objeto de control.

En el menú de configuración $PED [k] 2$ se puede establecer el rango de la salida de control, luego FEU :

Paso	Acción
1	Establezca el funcionamiento normal o el funcionamiento inverso con el parámetro FEU .

Seleccione cualquiera de las combinaciones de calentamiento o enfriamiento siguientes que se adecuen al sistema:

rEv	Salida de control 1	Salida de control 2
rv--	Inversa	-
no--	Normal	-
rvno	Inversa	Normal
norv	Normal	Inversa
rvrv	Inversa	Inversa
nono	Normal	Normal
