

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

TEMA:

**“ENLAINADORA AUTOMÁTICA DE TAPAS PLÁSTICAS DE
CUARENTA MILÍMETROS DE DIÁMETRO, PARA PROCESOS DE
PRODUCCIÓN EN SERIE”**

AUTOR: CRISTIAN GEOVANY TOCAGÓN TOCAGÓN

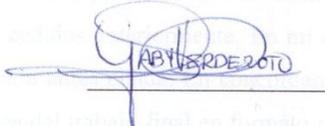
DIRECTORA: ING. GABRIELA VERDEZOTO

IBARRA – 2015

CERTIFICACIÓN CA DEL NORTE

Certifico que la tesis "ENLAINADORA AUTOMÁTICA DE TAPAS PLÁSTICAS DE CUARENTA MILÍMETROS DE DIÁMETRO, PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN SERIE" ha sido realizada en su totalidad por el egresado: Cristian Geovany Tocagón Tocagón portador de la cédula de ciudadanía número: 100367546-7.

Cristian Geovany Tocagón Tocagón, con cédula de ciudadanía No. 100367546-7, en virtud de haberse inscrito a la Universidad Técnica del Norte, hace los derechos reservados en su tesis de grado denominada: ENLAINADORA AUTOMÁTICA DE TAPAS PLÁSTICAS DE CUARENTA MILÍMETROS DE DIÁMETRO PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN SERIE, que ha sido realizada en el curso de INGENIERO EN MECATRÓNICA en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad Técnica del Norte para ejercer los derechos reservados en su tesis de grado. En mi condición de autor me reservo los derechos reservados de la tesis de grado. Al suscribir este documento en el momento del ingreso del trabajo al sistema de gestión de tesis en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.


ABYSSERDE ROTO

DIRECTORA DE TESIS

Yo, Cristian Geovany Tocagón Tocagón, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

Cristian Geovany Tocagón Tocagón



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DECLARACIÓN DE LA OBRA

Yo, Cristian Geovany Tocagón Tocagón, con cédula de identidad Nro. 100367546-7, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: **ENLAINADORA AUTOMÁTICA DE TAPAS PLÁSTICAS DE CUARENTA MILÍMETROS DE DIÁMETRO, PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN SERIE**, que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad Técnica del Norte para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Además, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional.

Ibarra, Julio del 2015.

FIRMA

Nombre: Cristian Geovany Tocagón Tocagón
Cédula: 100367546-7

| | |
|-----------|---|
| TÍTULO: | ENLAINADORA AUTOMÁTICA DE TAPAS PLÁSTICAS DE CUARENTA MILÍMETROS DE DIÁMETRO, PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN SERIE. |
| AUTOR: | CRISTIAN GEOVANY TOCAGÓN TOCAGÓN |
| FECHA: | JULIO - 2015 |
| GRADO: | <input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO |
| PROFESOR: | PROF. GABRIELA VERDEZOTO |



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional determina la necesidad de disponer los textos completos de forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | |
|--------------------------------|---|
| CÉDULA DE CIUDADANIA: | 100567546-7 |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Tocagón Tocagón Cristian Geovany |
| DIRECCIÓN: | González Suarez - Caluquí |
| EMAIL: | Cristian.tt_17@hotmail.com |
| TELÉFONO: | 0981203780 |
| DATOS DE LA OBRA | |
| TÍTULO: | ENLAINADORA AUTOMÁTICA DE TAPAS PLÁSTICAS DE CUARENTA MILÍMETROS DE DIÁMETRO, PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN EN SERIE. |
| AUTOR: | CRISTIAN GEOVANY TOCAGÓN TOCAGÓN |
| FECHA: | JULIO - 2015 |
| PROGRAMA: | <input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERO EN MECATRÓNICA |
| DIRECTORA: | ING. GABRIELA VERDEZOTO |

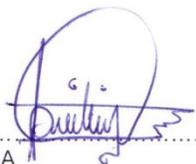
2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Cristian Geovany Tocagón Tocagón, con cédula de ciudadanía Nro. 100367546-7, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y el uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, Julio del 2015.



FIRMA

Nombre: Cristian Geovany Tocagón Tocagón
Cédula: 100367546-7

DEDICATORIA

Con mucho cariño a mi madre Berna Tocagón que me brinda todos sus consejos y virtudes para ser cada vez una mejor persona y con la ayuda de mi padre Domingo Tocagón que con su ejemplo de vida me enseña día a día que lo imposible no existe.

A mi esposa Esthela, por su comprensión y ayuda en los momentos difíciles, junto a mis dos tesoritos Camila y Noe que se convirtieron en un pilar importante en la conclusión del proyecto.

A mis hermanos David, Fabiola y demás familiares que siempre pusieron un granito de arena para que continúe y perdure en mis estudios.

Para ellos,

Muchas gracias por todo.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento:

A Dios por darme la salud y la sabiduría para afrontar los retos y problemas presentados en la ejecución del proyecto.

A mis padres, Domingo Tocagón por su apoyo incondicional y a mi madre Berna Tocagón por estar siempre pendiente en mi cuidado y bienestar.

A mi esposa por su paciencia y comprensión, de la misma manera a mis dos pequeños ángeles Camila y Noe por ser la fuerza faltante para lograr mis objetivos.

A la empresa Induplast S.A. por darme la oportunidad de realizar el proyecto en sus instalaciones, especialmente al Ing. Freddy Naranjo por los conocimientos compartidos.

A la Ing. Gabriela Verdezoto, en calidad de directora de tesis, por su apoyo y guía para la culminación de este proyecto.

A mis hermanos, tíos, y más familiares que siempre estuvieron siempre a la expectativa de mis estudios.

A todos ellos,

Muchas gracias de todo corazón.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|--|----------------------------------|
| CERTIFICACIÓN..... | ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO..... | ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN..... | ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO. |
| DEDICATORIA..... | V |
| AGRADECIMIENTO..... | VI |
| TABLA DE CONTENIDOS..... | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XV |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XIX |
| ÍNDICE DE ECUACIONES..... | XXI |
| RESUMEN..... | XXII |
| ABSTRACT..... | XXIII |
| PRESENTACIÓN..... | XXIV |
| CAPITULO I..... | 1 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1.1 PROBLEMA..... | 1 |
| 1.1.2 SOLUCIÓN..... | 1 |
| 1.1.3 ALCANCE..... | 2 |
| 1.2 ESPECIFICACIONES GENERALES..... | 2 |
| 1.2.1 MEDIO AMBIENTE E INDUSTRIAS PLÁSTICAS..... | 2 |
| 1.2.1.1 Peligros ambientales del uso masivo de los plásticos..... | 2 |
| 1.2.1.2 Induplast en manejo de Residuos..... | 3 |

| | | |
|---------|---|----|
| 1.3 | CONCEPTOS APLICADOS AL PROYECTO | 3 |
| 1.3.1 | OBTENCIÓN O FABRICACIÓN DE TAPAS | 3 |
| 1.3.1.1 | Mezcla | 4 |
| 1.3.1.2 | Inyección | 4 |
| 1.3.1.3 | Enlainado..... | 4 |
| 1.4 | CONCEPTOS DE ENLAINADO | 5 |
| 1.4.1 | ENLAINAR..... | 5 |
| 1.4.2 | LINER | 5 |
| 1.4.3 | TAPA PLÁSTICA..... | 7 |
| 1.4.3.1 | Polietileno..... | 7 |
| 1.4.3.2 | Polipropileno | 8 |
| 1.4.3.3 | Poliestireno..... | 8 |
| 1.5 | PROCESOS DE ELAINADO | 8 |
| 1.6 | FORMAS DE ENLAINADO | 9 |
| 1.6.1 | ENLAINADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS (MF-30D)..... | 9 |
| 1.6.2 | ENLAINADORA PARA TAPAS PLÁSTICAS (JF-29)..... | 10 |
| 1.6.3 | ENLAINADORA PARA TAPAS PLÁSTICAS (HQS-3) | 11 |
| 1.7 | NEUMÁTICA INDUSTRIAL | 12 |
| 1.7.1 | AIRE COMPRIMIDO | 12 |
| 1.7.2 | VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL | 13 |
| 1.7.2.1 | Número posiciones..... | 14 |
| 1.7.2.2 | Número de vías..... | 15 |
| 1.7.2.3 | Identificación de los orificios de la válvula | 15 |
| 1.7.3 | TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO | 16 |
| 1.7.3.1 | Separación de Agua..... | 17 |

| | | |
|-----------------------------------|---|----|
| 1.7.3.2 | Tratamiento final del aire comprimido..... | 17 |
| 1.7.4 | ACTUADORES | 19 |
| 1.7.4.1 | Actuadores Neumáticos..... | 20 |
| 1.8 | GENERADORES DE VACÍO | 21 |
| 1.8.1 | EYECTOR..... | 21 |
| 1.8.2 | BOMBAS DE VACÍO | 22 |
| 1.8.3 | SOPLANTES DE VACÍO | 23 |
| 1.9 | PROGRAMACIÓN DEL AUTÓMATA | 23 |
| 1.9.1 | REQUERIMIENTOS PARA LA PROGRAMACIÓN..... | 25 |
| 1.9.2 | ELEMENTOS BÁSICOS DE UN PROGRAMA..... | 26 |
| 1.9.3 | LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN DE PLC'S | 26 |
| 1.9.3.1 | Lenguaje de contactos o Ladder..... | 26 |
| 1.9.3.2 | Diagrama de Funciones..... | 28 |
| 1.9.3.3 | Lenguaje Boleano..... | 29 |
| CAPÍTULO II..... | | 30 |
| REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO | | 30 |
| 2 | DESCRIPCIÓN DEL PROCESO..... | 30 |
| 2.1 | ESTABLECIMIENTO DE REQUISITOS..... | 30 |
| 2.1.1 | ALTERNATIVAS DE ALIMENTADORA DE TAPAS | 31 |
| 2.1.1.1 | Alimentadores Vibratorios | 31 |
| 2.1.1.2 | Alimentadores Centrífugos | 32 |
| 2.1.1.3 | Alimentación con recarga..... | 34 |
| 2.1.2 | REQUERIMIENTOS DEL SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN | 35 |
| 2.1.2.1 | GUÍAS DESLIZANTES | 36 |
| 2.1.3 | SELECCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN | 37 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| 2.2 | DETERMINACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA..... | 38 |
| 2.2.1 | SUBSISTEMA MECÁNICO Y NEUMÁTICO | 39 |
| 2.2.1.1 | Alimentación de tapas | 40 |
| 2.2.1.2 | Traslación de tapas..... | 41 |
| 2.2.1.3 | Posicionamiento de tapas | 43 |
| 2.2.1.4 | Inserción de liners | 45 |
| 2.2.1.5 | Manejo del aire..... | 47 |
| 2.2.2 | SUBSISTEMA DE CONTROL..... | 50 |
| 2.2.2.1 | Autómata Siemens S7-200..... | 51 |
| 2.2.2.2 | Interruptores de proximidad..... | 52 |
| CAPÍTULO III | | 54 |
| 3 | DESARROLLO MECATRÓNICO DEL SISTEMA. | 54 |
| 3.1 | ARQUITECTURA MECÁNICA Y NEUMÁTICA..... | 55 |
| 3.1.1 | ALIMENTACIÓN DE TAPAS | 55 |
| 3.1.2 | MECANISMO DE TRASLACIÓN Y POSICIONAMIENTO | 60 |
| 3.1.2.1 | Unidad de traslación..... | 60 |
| | <i>a. Dimensionamiento y selección de cilindros</i> | 60 |
| | <i>b. Elementos de sujeción mecánico</i> | 66 |
| | <i>c. Funcionamiento.....</i> | 67 |
| 3.1.2.2 | Unidad de posicionamiento..... | 69 |
| | <i>a. Dimensionamiento y selección de cilindros</i> | 69 |
| | <i>b. Elementos de sujeción mecánico</i> | 71 |
| | <i>c. Funcionamiento.....</i> | 72 |
| 3.1.3 | MECANISMO DE INSERCIÓN DE LINER..... | 73 |
| 3.1.3.1 | Arquitectura del porta liner | 74 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.1.3.2 | Diseño del eje giratorio | 75 |
| a. | <i>Dimensionamiento</i> | 75 |
| b. | <i>Diagrama de cuerpo libre</i> | 80 |
| 3.1.3.3 | Dimensionamiento y selección del actuador giratorio | 83 |
| 3.1.3.4 | Dimensionamiento y selección de los cilindros verticales..... | 86 |
| 3.1.3.5 | Elementos de sujeción mecánico..... | 88 |
| a. | <i>Soportes del mecanismo</i> | 88 |
| b. | <i>Elementos de movimiento lineal y giratorio</i> | 89 |
| c. | <i>Acoples del actuador giratorio</i> | 90 |
| 3.1.3.6 | Funcionamiento | 91 |
| a. | <i>Posición inicial</i> | 91 |
| b. | <i>Posición final</i> | 92 |
| 3.1.4 | CONDICIONES DEL SISTEMA | 93 |
| 3.1.4.1 | Flujo de aire..... | 93 |
| 3.1.4.2 | Regulación de velocidad | 99 |
| 3.1.4.3 | Especificaciones técnicas | 101 |
| 3.2 | REPRESENTACIÓN DE MOVIMIENTOS SECUENCIALES | 101 |
| 3.2.1 | DIAGRAMA ESPACIO-TIEMPO | 102 |
| 3.2.2 | DIAGRAMAS DE MANDO NEUMÁTICO..... | 104 |
| 3.2.2.1 | Mando neumático en la traslación de tapas..... | 104 |
| 3.2.2.2 | Mando neumático del posicionamiento de tapas..... | 105 |
| 3.2.2.3 | Mando neumático para la inserción de liners..... | 106 |
| 3.3 | SUBSISTEMA DE CONTROL | 107 |
| 3.3.1 | ARRANQUE Y PROTECCIONES | 108 |
| 3.3.1.1 | Arranque y paro del sistema..... | 108 |

| | | |
|----------------------|---|-----|
| 3.3.1.2 | Protecciones del sistema..... | 109 |
| 3.3.2 | DISTRIBUCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC | 109 |
| 3.3.2.1 | Conexión de sensores | 110 |
| 3.3.2.2 | Bomba de vacío..... | 111 |
| 3.3.3 | CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN | 112 |
| CAPÍTULO IV | | 115 |
| IMPLEMENTACIÓN | | 115 |
| 4 | ENSAMBLAJE DE ELEMENTOS..... | 115 |
| 4.1 | MONTAJE DE LA MESA DE TRABAJO..... | 116 |
| 4.2 | MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN | 117 |
| 4.3 | MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE TRASLACIÓN | 118 |
| 4.3.1 | MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS | 118 |
| 4.3.2 | MONTAJE DE ELEMENTOS NEUMÁTICOS | 120 |
| 4.4 | MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE POSICIÓN | 121 |
| 4.4.1 | MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS | 121 |
| 4.4.2 | MONTAJE DE ELEMENTOS NEUMÁTICOS | 123 |
| 4.5 | MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE INSERCIÓN DE LINERS | 124 |
| 4.5.1 | MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS | 125 |
| 4.5.1.1 | Estructura de soporte..... | 125 |
| 4.5.1.2 | Montaje del mecanismo giratorio..... | 126 |
| 4.5.2 | MONTAJE NEUMÁTICO..... | 128 |
| 4.6 | TABLERO DE CONTROL..... | 130 |
| 4.7 | PROGRAMACIÓN EN EL PLC | 134 |
| 4.7.1 | ARRANQUE DEL SISTEMA | 135 |
| 4.7.2 | ALIMENTAR Y ENLAINAR TAPAS..... | 137 |

| | | |
|---------------------------------------|--|-----|
| 4.7.2.1 | Proceso de alimentación de tapas..... | 137 |
| 4.7.2.2 | Inserción de liners | 139 |
| a. | <i>Traslación de tapas</i> | 139 |
| b. | <i>Posicionamiento de tapas</i> | 140 |
| c. | <i>Inserción de liners</i> | 141 |
| d. | <i>Finalización del ciclo</i> | 145 |
| CAPÍTULO V | | 146 |
| ANÁLISIS DEL GENERAL DEL SISTEMA..... | | 146 |
| 5 | PRUEBAS Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO | 146 |
| 5.1 | PROBLEMAS Y CALIBRACIÓN | 146 |
| 5.2 | PRUEBAS DE LA ALIMENTACIÓN DE TAPAS | 149 |
| 5.3 | PRUEBAS DE LA INSERCIÓN DE LINER | 151 |
| 5.4 | ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 155 |
| 5.4.1 | ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN | 156 |
| 5.5 | DESCRIPCIÓN DE COSTOS | 156 |
| 5.5.1 | COSTOS DEL PROYECTO..... | 156 |
| 5.5.1.1 | Costos directos | 157 |
| 5.5.1.2 | Costos Indirectos | 160 |
| 5.5.1.3 | Costo total | 160 |
| 5.6 | ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO..... | 161 |
| 5.6.1 | ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN SIN MÁQUINA..... | 161 |
| 5.6.2 | ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN CON LA ENLAINADORA 165 | |
| 5.6.3 | PERIODO DE LA RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN | 166 |
| 5.6.4 | ANÁLISIS | 167 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 5.6.4.1 Cálculo costo-beneficio..... | 167 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 169 |
| CONCLUSIONES..... | 169 |
| RECOMENDACIONES | 170 |
| BIBLIOGRAFÍA | 171 |
| ANEXO A | 175 |
| ANEXO B | 176 |
| ANEXO C | 177 |
| ANEXO D | 178 |
| ANEXO E..... | 179 |
| ANEXO F..... | 180 |
| ANEXO G | 181 |
| ANEXO H | 182 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| <i>Figura 1</i> : Diagrama de la producción de tapas (Lesther, 2008)..... | 4 |
| <i>Figura 2</i> : Liner (Facarlyte Cap Liners & Seals, S.A., 2011) | 6 |
| <i>Figura 3</i> : Tapa plásticas enlainadas | 7 |
| <i>Figura 4</i> : Enlainadora tipo MF-30D (Made-in-China.com, 2014) | 9 |
| <i>Figura 5</i> : Enlainadora modelo JF-29 (Made-in-China.com, 2014) | 11 |
| <i>Figura 6</i> : Enlainadora HQS-3 (Made-in-China.com, 2014)..... | 11 |
| <i>Figura 7</i> : Representacion de las posiciones en válvulas (Parker Hannifin, 2003)..... | 14 |
| <i>Figura 8</i> : Representación de las vías en válvulas (Parker Hannifin, 2003)..... | 15 |
| <i>Figura 9</i> : Elementos en el tratamiento del aire comprimido (Hervás, 2008)..... | 16 |
| <i>Figura 10</i> : Clasificación de actuadores según el tipo de energía (Ángela, 2011)..... | 19 |
| <i>Figura 11</i> : Clasificación de actuadores neumáticos (Manuel Vega Díaz, 2009)..... | 20 |
| <i>Figura 12</i> : Generador de vacío con efecto Venturi (FESTO, 2014)..... | 21 |
| <i>Figura 13</i> : Componentes de la bombas de vacío (Mecantech, 2011) | 22 |
| <i>Figura 14</i> : Funcionamiento de un soplador de aire (Maganeboy, 2014)..... | 23 |
| <i>Figura 15</i> : Esquema interno del PLC (WESCO DISTRIBUTION, 2010)..... | 24 |
| <i>Figura 16</i> : Estructura de programación Ladder (Yugsi, 2009)..... | 28 |
| <i>Figura 17</i> : Ejemplo de estructura con bloques (Yugsi, 2009). | 28 |
| <i>Figura 18</i> : Alimentador Vibratorio (Orientech, 2014) | 31 |
| <i>Figura 19</i> : Alimentador Centrífugo (Orientech, 2014)..... | 33 |
| <i>Figura 20</i> : Alimentador con elevador (SAPLI SOLUTIONS, 2013)..... | 34 |
| <i>Figura 21</i> : Guía de gravedad con varillas de acero inoxidable..... | 36 |
| <i>Figura 22</i> : Diagrama de bloques del sistema..... | 39 |
| <i>Figura 23</i> : Elementos de la alimentación de tapas | 40 |
| <i>Figura 24</i> : Pista de alimentación de tapas..... | 41 |
| <i>Figura 25</i> : Recorrido de tapas..... | 41 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 26:</i> Posición inicial de la traslación de tapas..... | 42 |
| <i>Figura 27:</i> Posición inicial de la traslación de tapas..... | 42 |
| <i>Figura 28:</i> Separación de tapas | 43 |
| <i>Figura 29:</i> Posicionado de Tapas | 44 |
| <i>Figura 30:</i> Forma de inserción de liners | 45 |
| <i>Figura 31:</i> Bomba de vacío DS-1S (KSK Engineering & System, 2014)..... | 46 |
| <i>Figura 32:</i> Accesorios del sistema de vacío (ECUAINSETEC, 2014)..... | 47 |
| <i>Figura 33:</i> Unidad de mantenimiento LFR-1/2-D-MIDI (FESTO, 2004)..... | 48 |
| <i>Figura 34:</i> Válvula básica CPE18-P1-5L-1/4 (ECUAINSETEC, 2014)..... | 49 |
| <i>Figura 35:</i> Electroválvula VSCS-B-M32-MH-WA-1C1 (ECUAINSETEC, 2014)..... | 50 |
| <i>Figura 36:</i> Accesorios de conexión electro neumática (ECUAINSETEC, 2014) | 50 |
| <i>Figura 37:</i> Inducción Electromagnética (Lonely113, 2012)..... | 52 |
| <i>Figura 38:</i> Diagrama de flujo del Sistema de enlainado..... | 54 |
| <i>Figura 39:</i> Tolva de alimentación de tapas | 58 |
| <i>Figura 40:</i> Variables de los cilindros de doble efecto..... | 61 |
| <i>Figura 41:</i> Cilindro DSNU-10-10-P-A. (FESTO, 2004) | 63 |
| <i>Figura 42:</i> Cilindro 1130250160CN (Metal Work, 2014) | 66 |
| <i>Figura 43:</i> Piezas de unión y sujeción del mecanismo transportador | 67 |
| <i>Figura 44:</i> Posición inicial de traslación..... | 68 |
| <i>Figura 45:</i> Posición final del mecanismo de traslación | 68 |
| <i>Figura 46:</i> Pieza agarre de tapas | 69 |
| <i>Figura 47:</i> Cilindro DSNU-10-25-P-A (FESTO, 2004)..... | 71 |
| <i>Figura 48:</i> Elementos de posición | 71 |
| <i>Figura 49:</i> Situación inicial de posicionado de tapas..... | 72 |
| <i>Figura 50:</i> Situación final del posicionado de tapas | 73 |
| <i>Figura 51:</i> Soporte liner | 74 |
| <i>Figura 52:</i> Eje giratorio y las porta ventosas | 75 |
| <i>Figura 53:</i> Dimensiones del eje | 76 |
| <i>Figura 54:</i> Diagrama de cuerpo libre del eje | 80 |
| <i>Figura 55:</i> Diagrama de fuerzas en el plano | 80 |
| <i>Figura 56:</i> Diagrama de cargas en MDSolids..... | 81 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 57:</i> Diagrama de cortes..... | 82 |
| <i>Figura 58:</i> Diagrama de momentos | 83 |
| <i>Figura 59:</i> Actuador Giratorio DSR-16-180-P (FESTO, 2004) | 85 |
| <i>Figura 60:</i> Distancia vertical para el giro del eje..... | 86 |
| <i>Figura 61:</i> Cilindro DNCB-32-125-PPV-A (FESTO, 2004)..... | 88 |
| <i>Figura 62:</i> Soportes principales | 89 |
| <i>Figura 63:</i> Elementos de movimiento lineal y giratorio | 90 |
| <i>Figura 64:</i> Acoples de actuadores lineal y giratorio | 90 |
| <i>Figura 65:</i> Posición inicial de inserción de liners | 91 |
| <i>Figura 66:</i> Posición final de inserción de liners | 92 |
| <i>Figura 67:</i> Regulación de velocidad (Gerardo, 2003) | 99 |
| <i>Figura 68:</i> Diagrama espacio-tiempo de los actuadores neumáticos..... | 103 |
| <i>Figura 69:</i> Diagrama de mando de la traslación de tapas | 105 |
| <i>Figura 70:</i> Diagrama de mando del posicionado de tapas | 106 |
| <i>Figura 71:</i> Diagrama de mando en inserción de liner..... | 107 |
| <i>Figura 72:</i> Circuito de marcha y paro | 108 |
| <i>Figura 73:</i> Sensor SME-8M-DS-24V-K-2.5 (FESTO, 2014)..... | 111 |
| <i>Figura 74:</i> Bomba de vacío principio de funcionamiento (Pompeytravaine, 2014)..... | 112 |
| <i>Figura 75:</i> Diagrama de bloques de la alimentadora de tapas | 112 |
| <i>Figura 76:</i> Diagrama de bloques del posicionado de tapas | 113 |
| <i>Figura 77:</i> Diagrama de bloques de inserción de liner | 113 |
| <i>Figura 78:</i> Diagrama de bloques general..... | 114 |
| <i>Figura 79:</i> Diagrama general del sistema | 115 |
| <i>Figura 80:</i> Diagrama de flujo del ensamblaje de la mesa de trabajo | 116 |
| <i>Figura 81:</i> Diagrama de flujo del mecanismo de alimentación de tapas | 117 |
| <i>Figura 82:</i> Construcción del subsistema de alimentación..... | 118 |
| <i>Figura 83:</i> Diagrama de flujo mecánico del subsistema de traslación..... | 119 |
| <i>Figura 84:</i> Construcción del subsistema mecánico de traslación | 120 |
| <i>Figura 85:</i> Elementos neumáticos de traslación | 120 |
| <i>Figura 86:</i> Diagrama de flujo del sistema neumático de traslación..... | 121 |
| <i>Figura 87:</i> Diagrama de flujo de los elementos mecánicos de posición..... | 122 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 88:</i> Construcción del subsistema mecánico de posición | 123 |
| <i>Figura 89:</i> Elementos neumáticos de posición | 123 |
| <i>Figura 90:</i> Diagrama de flujo del subsistema neumática de posición | 124 |
| <i>Figura 91:</i> Diagrama de flujo del soporte de la inserción de liners | 125 |
| <i>Figura 92:</i> Montaje de soporte de la inserción de liner | 126 |
| <i>Figura 93:</i> Diagrama de flujo del montaje del mecanismo giratorio | 127 |
| <i>Figura 94:</i> Montaje del mecanismo giratorio | 128 |
| <i>Figura 95:</i> Montaje de elementos neumáticos de la inserción de liners | 129 |
| <i>Figura 96:</i> Instalación de los cilindros verticales | 129 |
| <i>Figura 97:</i> Instalación del actuador giratorio..... | 130 |
| <i>Figura 98:</i> Diseño del tablero de control | 131 |
| <i>Figura 99:</i> Vista interna del tablero de control | 132 |
| <i>Figura 100:</i> Vista externa del tablero de control | 133 |
| <i>Figura 101:</i> Esquema de programación del PLC S7-200 (SIEMENS, 2008) | 134 |
| <i>Figura 102:</i> Diagrama de flujo de arranque de sistema | 136 |
| <i>Figura 103:</i> Diagrama de flujo del selector de trabajo | 137 |
| <i>Figura 104:</i> Diagrama de flujo de la alimentación de tapas | 138 |
| <i>Figura 105:</i> Diagrama de flujo de la traslación automática de tapas | 139 |
| <i>Figura 106:</i> Diagrama de flujo del posicionamiento de tapas | 140 |
| <i>Figura 107:</i> Diagrama de flujo para los cilindros verticales..... | 142 |
| <i>Figura 108:</i> Diagrama de flujo para el actuador giratorio. | 143 |
| <i>Figura 109:</i> Diagrama de flujo del control de vacío | 144 |
| <i>Figura 110:</i> Almacenamiento de las tapas enlainadas | 145 |
| <i>Figura 111:</i> Soluciones a los problemas de alimentación de tapas..... | 147 |
| <i>Figura 112:</i> Soluciones a los problemas de traslación de tapas | 148 |
| Figura 113: Soluciones a los problemas de posicionamiento | 148 |
| <i>Figura 114:</i> Soluciones a problemas de inserción de liners..... | 149 |
| <i>Figura 115:</i> Diagrama de tapas alimentadas | 151 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: <i>Subsistemas de inserción de liner en tapas plásticas</i> | 8 |
| Tabla 2: <i>Características de la enlainadora MF-30D</i> (Made-in-China.com, 2014)..... | 10 |
| Tabla 3: <i>Características de la enlainadora JF-29</i> (Made-in-China.com, 2014) | 10 |
| Tabla 4: <i>Características de la enlainadora HQS-3</i> (Made-in-China.com, 2014)..... | 12 |
| Tabla 5: <i>Identificación de los orificios de la válvula</i> (Parker Hannifin, 2003)..... | 15 |
| Tabla 6: <i>Elementos básicos para la programación Ladder</i> (Yugsi, 2009)..... | 27 |
| Tabla 7: <i>Lista de Instrucciones del lenguaje booleano</i> | 29 |
| Tabla 8: <i>Análisis Técnico de alimentadores de tapas</i> | 37 |
| Tabla 9: <i>Análisis de operación con alimentadores de tapas</i> | 37 |
| Tabla 10: <i>Características de los cilindros de traslación</i> | 43 |
| Tabla 11: <i>Características del cilindro de posición</i> | 44 |
| Tabla 12: <i>Características de LFR-1/2-D-MIDI</i> (ECUAINSETEC, 2014) | 47 |
| Tabla 13: <i>Características del PLC S7-200</i> (SIEMENS, 2008)..... | 51 |
| Tabla 14: <i>Características del sensor inductivo</i> (ECUAINSETEC, 2014)..... | 53 |
| Tabla 15: <i>Características del Cilindro DSNU-10-10-P-A</i> (FESTO, 2004) | 64 |
| Tabla 16: <i>Carga del cilindro de traslación</i> | 64 |
| Tabla 17: <i>Características del cilindro 1130250160CN</i> (Metal Work, 2014) | 65 |
| Tabla 18: <i>Características del Cilindro DSNU-10-25-P-A</i> (FESTO, 2004) | 70 |
| Tabla 19: <i>Características del actuador giratorio DSR-16-180-P</i> (FESTO, 2004)..... | 86 |
| Tabla 20: <i>Características del cilindro DNCB-32-125-PPV-A</i> (FESTO, 2004). | 87 |
| Tabla 21: <i>Elementos con control de velocidad</i> | 100 |
| Tabla 22: <i>Presión en trabajo de actuadores</i> | 101 |
| Tabla 23: <i>Elementos del mando neumático en traslación de tapas</i> | 104 |
| Tabla 24: <i>Elementos de mando en el posicionado de tapas</i> | 105 |
| Tabla 25: <i>Elementos de mando en la inserción de liners</i> | 106 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 26: <i>Protecciones eléctricas del sistema</i> | 109 |
| Tabla 27: <i>Distribución de las entradas al PLC</i> | 109 |
| Tabla 28: <i>Distribución de las salidas del PLC</i> | 110 |
| Tabla 29: <i>Simbología de los diagramas de flujo</i> | 116 |
| Tabla 30: <i>Datos de alimentación de la tolva</i> | 150 |
| Tabla 31: <i>Datos 1 de tapas enlainadas</i> | 152 |
| Tabla 32: <i>Datos 2 de tapas enlainadas</i> | 153 |
| Tabla 33: <i>Datos 3 de tapas enlainadas</i> | 154 |
| Tabla 34: <i>Análisis de las tapas enlainadas</i> | 155 |
| Tabla 35: <i>Análisis de resultados</i> | 156 |
| Tabla 36: <i>Costos directos del sistema eléctrico y electrónico</i> | 157 |
| Tabla 37: <i>Costos directos del sistema neumático</i> | 158 |
| Tabla 38: <i>Costos directos del juego de válvulas</i> | 159 |
| Tabla 39: <i>Costos directos del ensamblaje</i> | 159 |
| Tabla 40: <i>Valor total costos directos de producción</i> | 160 |
| Tabla 41: <i>Total de costos indirectos</i> | 160 |
| Tabla 42: <i>Costo total del proyecto</i> | 161 |
| Tabla 43: <i>Precios de la materia prima</i> | 162 |
| Tabla 44: <i>Costo de producción en 5000 tapas</i> | 162 |
| Tabla 45: <i>Mano de obra en la producción de tapas sin la enlainadora</i> | 163 |
| Tabla 46: <i>Tapas enlainadas en 8h</i> | 163 |
| Tabla 47: <i>Precio de tapas</i> | 164 |
| Tabla 48: <i>Utilidad por ventas sin la enlainadora</i> | 164 |
| Tabla 49: <i>Mano de obra en la producción de tapas con la enlainadora</i> | 165 |
| Tabla 50: <i>Utilidad por ventas con la enlainadora</i> | 165 |
| Tabla 51: <i>Análisis de las utilidades</i> | 166 |
| Tabla 52: <i>Periodo de recuperación</i> | 167 |
| Tabla 53: <i>Costo-Beneficio</i> | 167 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|-----|
| Ecuación 1: Volumen de una de tapa | 55 |
| Ecuación 2: Cantidad de tapas a enlainer | 56 |
| Ecuación 3: Masa total de apilamiento de tapas..... | 56 |
| Ecuación 4: Fuerza gravitacional promedio | 57 |
| Ecuación 5: Peso del cuerpo..... | 57 |
| Ecuación 6: Volumen de un tronco de cono..... | 59 |
| Ecuación 7: Sección en avance..... | 61 |
| Ecuación 8: Sección en retroceso | 62 |
| Ecuación 9: Fuerza aplicada..... | 62 |
| Ecuación 10: Fuerza en avance | 63 |
| Ecuación 11: Fuerza en retroceso..... | 63 |
| Ecuación 12: Volumen del eje..... | 76 |
| Ecuación 13: Masa del eje | 78 |
| Ecuación 14: Momento de Inercia en el eje de las x | 78 |
| Ecuación 15: Momentos de inercia en los ejes y y z | 79 |
| Ecuación 16: Potencia del motor | 83 |
| Ecuación 17: Potencia a transmitir | 84 |
| Ecuación 18: Velocidad angular..... | 84 |
| Ecuación 19: Volumen del aire | 93 |
| Ecuación 20: Flujo de aire | 93 |
| Ecuación 21: Utilidad final..... | 164 |
| Ecuación 22: Utilidad mensual sin la enlainera..... | 165 |
| Ecuación 23: Utilidad mensual con la enlainera | 166 |
| Ecuación 24: Utilidad adicional | 166 |
| Ecuación 25: Relación Beneficio-Costo..... | 168 |

RESUMEN

El presente proyecto consiste en un sistema de enlainado de tapas en forma rápida y precisa según normas técnicas de producción industrial, sin la necesidad de realizarlo manualmente como se lo viene realizando en las pequeñas y medianas industrias plásticas, y consta esencialmente de tres subsistemas. El sistema de control está diseñado para enlainar tapas plásticas tipo rosca de 40×17 [mm].

Subsistema de alimentación de tapas, que es tomada de la tolva acomodadora y enviada a través de una pista inclinada hacia la horizontal o mesa de trabajo, este subsistema es independiente de las demás, los subsistemas mencionados a continuación dependen directamente de este.

Subsistema de traslación y posición de tapas, consta de dos partes, la primera toma cuatro tapas las cuales previamente fueron acomodadas de forma específica (boca arriba) por la acomodadora de tapas y las traslada hasta la posición de enlainado, en el cual actúa el posicionado de tapas dejando listo para la inserción de liners.

El tercer subsistema viene a ser la inserción de liner, la misma que está dotada de elementos de rotación y traslación sincronizados de forma exacta para asegurar el perfecto enlainado de tapas, asegurando así la calidad del producto.

La respuesta de cada uno de los subsistemas está controlada por electroválvulas que accionan los cilindros neumáticos para dar inicio y fin del proceso de enlainado de tapas, con parámetros programadas desde el PLC.

Con la incorporación de este sistema de control al proceso de enlainado se ha logrado aumentar la producción diaria optimizando tiempo y costos de una empresa plástica.

ABSTRACT

This project consists in a system of cap lining lids quickly and accurately as industry technical standards, without having to do it manually as it is done in small and medium plastic industries. It's essentially made of three subsystems. The control system is designed lining 40×17[mm] screw type plastic caps.

Power Subsystem caps: taken from the hopper setter and sent through a horizontal or bench track. This subsystem is independent of the others mentioned subsystems is then directly dependent on this.

Subsystem translational and positioning caps, consists of two parts. The first takes four tapas, which were previously arranged in a specific way (face up) by the setter of caps, and moves to the right position of cap lining. The positioning acts are leaving caps ready for inserting liners.

The third subsystem is for the insertion of liner. It's provided by elements of rotation, translation and is synchronized accurately to ensure perfect cap lining caps, which ensures product quality.

The response of each one of the subsystems is controlled by solenoid valves that activate pneumatic cylinders that start the process and end cap lining of tapas, with parameters programmed from the PLC.

The addition of this control system of cap lining process has been able to increase the daily production and optimizing time and costs of a plastic company.

PRESENTACIÓN

Este trabajo abarca la implementación de una enlainadora automática, los dispositivos mecánicos, neumáticos y eléctricos o electrónicos usados en el mismo, se los puede encontrar en el mercado de la Automatización Industrial, y los elementos diseñados y fabricados se los realiza en cualquier taller dotado de máquinas y herramientas adecuadas.

El presente proyecto está estructurado en cuatro capítulos que detalla el modelado y funcionamiento de la estructura, y en el quinto se hace un análisis del funcionamiento y los costos de fabricación, en la parte final se tiene las conclusiones y recomendaciones del trabajo, lo descrito se muestra a continuación:

El primer capítulo hace un estudio del campo de aplicación, los conceptos generales de los elementos que interviene en el sistema, de acuerdo a lo que el mercado globalizado ofrece para trabajar en industrias alimenticias a la cual va dirigido el desarrollo final del proyecto.

El segundo capítulo abarca el análisis de los requerimientos del sistema, partiendo de la lógica mecánica, eléctrica y neumática que facilitan la precisión del movimiento de cada uno de los elementos que intervienen en el funcionamiento del proceso de enlainado.

En el capítulo tres se presenta el diseño mecatrónico de los elementos del sistema detallando sus características, acopladas directamente a la circuitería neumática y eléctrica que permite la elaboración de un trabajo con alta precisión.

En el capítulo cuatro, se realiza la implementación y el montaje del sistema mecánico ligada a los actuadores neumáticos y a cada elemento electrónico, con el respectivo sistema de control regida desde un PLC.

En el capítulo cinco se realiza el análisis del costo beneficio, y posteriormente las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPITULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

INDUPLAST S.A. es una industria, que se dedica al diseño y fabricación de tapas plásticas en diversas medidas (diámetro, altura y peso), las cuales dependen de los requerimientos y especificaciones solicitadas por los clientes; esta industria se caracteriza por tener un amplio mercado para su distribución y comercialización.

Además de la producción de tapas y envases plásticos, cuenta con un proceso de enlainado cuya función es garantizar la hermeticidad de la tapa al momento de su utilización, lo que ha obligado a equipar su sistema de enlainado con equipos automáticos de producción en serie.

1.1.1 PROBLEMA

La Industria plástica “INDUPLAST S.A”, ubicada en el kilómetro uno vía a Cayambe desde hace algunos años fabrica y distribuye botellas plásticas desde treinta centímetros cúbicos hasta diez mil centímetros cúbicos, a las empresas como: Dulacs, Lácteos San Luis, Ecuacac, entre otros, cada uno de los envases con sus respectivas tapas.

Las tapas comercializadas necesariamente son enlainadas, debido a que así mantienen la calidad e inocuidad del producto que contiene el envase. Para conservar este aspecto fundamental la empresa importa el liner desde el extranjero y el proceso de enlainado es manual, esta forma tradicional, ha generado varios inconvenientes como: producción limitada, cansancio físico de las personas que intervienen en dicho proceso, logrando así un máximo de dos mil tapas/hora por persona en el mejor de los casos, esto con lleva un gran retraso con respecto a la producción de la inyectora de la planta.

1.1.2 SOLUCIÓN

La mejor manera de optimizar los recursos es mediante la implementación de un sistema automático de enlainado, especialmente para las tapas de cuarenta milímetro de diámetro, debido a que son las más comercializadas dentro del país con sus respectivos envases, dependiendo de la necesidad del cliente.

La máquina enlainadora que se implementa cubre cada una de las necesidades, tanto de la fábrica como de los diferentes clientes que adquieren los productos, con este sistema se logra nuevos espacios de distribución a nivel nacional y en un futuro no muy lejano al extranjero.

1.1.3 ALCANCE

Este proyecto abarca la implementación de los dispositivos existentes en el medio de la automatización industrial, enfocado a la precisión dirigida a la industria plástica.

Las tapas seleccionadas por la empresa **INDUPLAST S.A.** para el enlainado automático son las tapas plásticas tipo rosca de 40×17 [mm], debido a que varios envases con diferente capacidad son diseñadas para este tipo de tapas, este viene a ser el motivo por el cual existe mayor producción y comercialización dentro del mercado nacional.

Para lograr este proceso las tapas son tomadas del acomodador adquirida previamente, y estas a través de una pista deslizante son enviadas a un plano horizontal, en el cual cuatro son separados, las mismas que son posicionadas, para que el elemento final inserte los liners en las tapas, empezando así al proceso de enlainado automático repetitivo. Todo este proceso está controlado por un PLC.

La capacidad mínima de diseño de máquina en realizar el proceso de enlainado es de cinco mil tapas por hora, con esto se logra despachar de forma inmediata el producto que se obtiene de la inyectora, que con lleva a tener un campo abierto para ganar nuevos espacios en las industrias alimenticias.

1.2 ESPECIFICACIONES GENERALES

1.2.1 MEDIO AMBIENTE E INDUSTRIAS PLÁSTICAS

Los polímeros se han convertido en uno de los acompañantes habituales en nuestra vida. La mayoría de los objetos que están a nuestro alrededor están constituidos total o parcialmente por alguno de ellos. Esto ha dado lugar a un gran desarrollo de la industria, lo que ha generado problemas ambientales. (Hervás, 2008)

1.2.1.1 Peligros ambientales del uso masivo de los plásticos

La mayoría de los plásticos sintéticos no pueden ser degradados por el entorno. Se han desarrollado algunos plásticos degradables, pero a pesar de ellos siguen sin cumplir las

condiciones óptimas para los vertederos de basura. El que sea degradable, no significa que los materiales desaparezcan, sino que se hacen física y químicamente más pequeños, dando lugar a sustancias que pueden ser más peligrosas aún que las iniciales.

El plástico tarda cientos de años en descomponerse en el medio ambiente, hasta 1.000 años según el tipo de plástico. La eliminación de los plásticos supone un problema ambiental. El método más eficiente para solucionar este problema es el reciclaje y la no generación de residuos. (Commons Atribución-Compartilgual, 2013)

1.2.1.2 Induplast en manejo de Residuos

Induplast S.A., es una compañía muy comprometida con el medio ambiente, cumple de manera detallada el Programa de Recolección de Residuos, el cual consiste en clasificar y reciclar.

En la implementación de la enlainadora se trata de desfavorecer al medio ambiente en lo más mínimo, se trata al máximo de realizar un ahorro significativo en el proyecto, por ejemplo se diseñan elementos mecánicos que actúen como ciertos elementos neumáticos por implementarse, así aunque llevo un poco más de tiempo de lo previsto queda la satisfacción de haber contribuido en contra de la contaminación en el mundo.

1.3 CONCEPTOS APLICADOS AL PROYECTO

1.3.1 OBTENCIÓN O FABRICACIÓN DE TAPAS

En general, un plástico es un material flexible, resistente, poco pesado y aislante de la electricidad y del calor. Se emplea mucho en la industria porque es fácil de fabricar y moldear, es económico, ligero y admite pigmentos de gran variedad de colores. Además, puede combinarse con otros materiales y mejorar así sus propiedades.

La fabricación de plásticos y sus manufacturados implica dos pasos básicos: obtención de las materias primas y el moldeo o deformación del plástico hasta su forma definitiva.

A continuación se realiza una breve descripción de la rutina diaria de la fábrica para la obtención de tapas enlainadas, ver la figura 1.

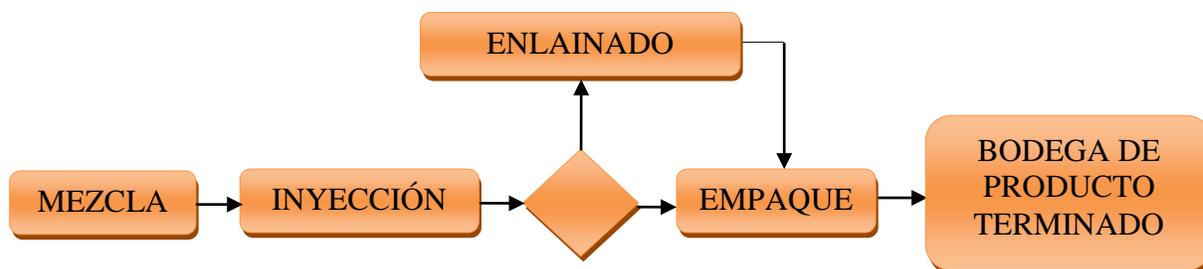


Figura 1 : Diagrama de la producción de tapas (Lesther, 2008).

1.3.1.1 Mezcla

En este lugar se prepara la materia prima que está compuesta de resinas (en forma de polvo o pequeños gránulos) que es utilizada en la producción de inyección la cual debe someterse a un proceso de teñido, utilizando colorantes que deben mezclarse con el material, tanto virgen (material sin alteraciones) como molido o picadura (material reciclado) en los barriles de la máquina mezcladora, la cual da como resultado una mezcla homogénea que debe ser almacenada en recipientes y posteriormente trasladarla a la máquina de Inyección. (Lesther, 2008)

No está de más indicar que únicamente se le agrega colorante al material virgen, pues el molido cuenta ya con la cantidad de colorante formulada.

1.3.1.2 Inyección

En esta instancia se recibe la mezcla que se obtiene del proceso anterior, la cual se utiliza para alimentar la máquina de inyección, que consiste primero, en fundir el plástico o mezcla en una cámara de calor la cual es transportada a través de un tornillo y luego se le hace entrar al molde perforado con un pistón o émbolo. Inmediatamente se hace circular agua fría por el molde y el plástico adquiere la forma deseada a medida que se enfría. Posteriormente, el molde se abre y las tapas plásticas se desprenden. El molde se cierra nuevamente y el proceso se repite. (Lesther, 2008)

1.3.1.3 Enlainado

La tapa después de salir de la maquina inyectora tiene dos opciones enlainar o no enlainarlo, si se alinea a la primera opción se procede a colocarle el liner (revestimiento) a las tapas

plásticas, proceso que se lleva a cabo a través de una máquina enlainadora la cual dispone de un pre alimentador en donde se cargan las tapas que son utilizadas, las mismas que posteriormente se procede a colocar el liner. (Lesther, 2008)

Al terminar las tapas son contadas y empacadas dependiendo el número de pedido con el respectivo envase.

1.4 CONCEPTOS DE ENLAINADO

1.4.1 ENLAINAR

Es colocar en los diferentes modelos de tapas, tipos de materiales como cartón, espumado, aluminio, inducción y EVA de forma tal que tenga un ajuste perfecto entre la tapa y el envase que lo contiene. Cada sistema es diseñado y fabricado, conforme a las características de las tapas y a la velocidad requerida. El proceso puede ser manual, automático o semiautomático.

La función de la máquina enlainadora es colocar en forma automática el liner en la tapa garantizando así la hermeticidad del objeto al momento de su utilización, asegurando la calidad y la inocuidad de los productos. Las empresas optan por utilizar tapas que lleven el material conocido como "liner", para cumplir los estándares y las políticas en los cuales se rigen.

1.4.2 LINER

Se entiende por liner (revestimiento), al material que se coloca o adhiere en la parte interior de una tapa, el cual cumple la función de dar mayor hermeticidad, al igual que un mejor sellado y mayor seguridad al contenido del envase. (Lesther, 2008)

El liner ha evolucionado a través de los años, ya que inicialmente se usaban discos de corcho. Hoy en día, existen diferentes tipos de liners, desde una capa de espumado de extrusión hasta capas múltiples de aluminio para inducción, que vienen en presentación de rollo.

Existen liners de varios tipos, el uso depende del producto que va en el envase y si este contiene ingredientes corrosivos y volátiles, como por ejemplo químicos, ácidos, solventes, contenido de alto en sales, alcohol, vinagre etc.

A continuación en la figura 2 se muestra la imagen del liner, la misma que se encuentra entre la tapa y el envase.



Figura 2: Liner (Facarlyte Cap Liners & Seals, S.A., 2011)

La mayor parte de los liner suelen estar hechos a base de polietileno expandido, aluminio, poliéster o cartón, o combinados.

El liner en la fábrica Induplast es adquirido a una empresa externa, el objeto es elaborado con espuma de polietileno expandido, de revestimiento de propósito general ideal, al ser colocado en las tapas crea un sello estable la cual tiene buena resistencia química frente a ácidos, álcalis, disolventes, alcoholes, aceites, cosméticos y productos para el hogar.

El objetivo de liner en cada una de las tapas es que no exista fuga de producto e ingreso de gases contaminantes cuando ya está en su etapa final sellando al embace. Cumpliendo así con los estándares de toda empresa alimenticia el cual es conservar sus productos en perfectas condiciones, y brindar al cliente servicios de primera calidad de antemano cumpliendo con la legislación nacional e internacional.

1.4.3 TAPA PLÁSTICA

La tapa plástica, es una pieza móvil con que se cierra o cubre la parte superior de una botella, frasco o recipiente en general, la cual está elaborada con derivados del petróleo (termoplásticos), y cuya resistencia estará en función al tipo de materia prima que se utilice.

Se hace necesario indicar que los termoplásticos tienen cada vez más aplicaciones en los sectores industriales y de consumo, lo que incluye la fabricación de tapas plásticas.



Figura 3: Tapa plásticas enlainadas

A continuación se describen los tipos de termoplásticos que son utilizados como materia prima para la elaboración de tapas.

1.4.3.1 Polietileno

Se le llama con las siglas PE. Existen fundamentalmente dos tipos de polietileno, cuyas características se describen a continuación:

- **PE de Alta Densidad:** Es un plástico incoloro, inodoro, no tóxico, fuerte y resistente a golpes y productos químicos.
- **PE de Baja Densidad:** Es un plástico incoloro, inodoro, no tóxico, más blando y flexible que el de alta densidad. Por tanto se necesita menos energía para ser ablandado, por otro lado es menos resistente. Aunque en sus más valiosas propiedades se encuentra un buen aislante. Se puede encontrar bajo las formas de transparentes y opaco.

1.4.3.2 Polipropileno

Se conoce con las siglas PP. Es un plástico muy duro y resistente. Es opaco y con gran resistencia al calor. También es muy resistente a los golpes aunque tiene poca densidad y se puede doblar muy fácilmente, resistiendo múltiples doblados. También resiste muy bien los productos corrosivos.

1.4.3.3 Poliestireno

Se designa con las siglas PS. Es un plástico más frágil, que se puede colorear y tiene una buena resistencia mecánica, puesto que resiste muy bien los golpes. Por ejemplo, se usa para fabricar tapaderas de bisutería y otros elementos que precisan una gran ligereza.

Los diferentes tipos de tapas pueden adaptarse casi a cualquier modelo de envase, debido a que el cambio de molde y la realización del mismo es bastante complicado, razón por el cual la boca del envase es estandarizado para en la mayoría de veces para así depender de un solo modelo de tapas.

1.5 PROCESOS DE ELAINADO

En la tabla 1 se muestra los elementos que intervienen en el enlainado de tapas.

Tabla 1: *Subsistemas de inserción de liner en tapas plásticas*

| SUBSISTEMA | DESCRIPCION |
|--------------|--|
| Alimentación | Las tapas son alimentadas y orientadas saliendo del alimentador de manera ordenada y rítmica para ser transportadas en uno o más canales. |
| Traslación | El transportador toma las tapas que vienen ordenadas desde el alimentador, las mismas que son dirigidas en forma controlada al subsistema de en el cual se inserta el liner. |
| Posición | Este subsistema para o detiene el movimiento de las tapas, figando en una posición exacta para que luego sea colocado el liner. |
| Inserción | Es la etapa final antes de ser almacenadas, lo cual viene a ser el objetivo central del proyecto, la inserción de liner en cada una de las tapas. |
| Control | Este sistema abarca todo el control automático de los actuadores neumáticos y eléctricos que intervienen en el sistema total. |

Los subsistemas mencionados en la tabla 1 se implementan sin importar el modelo de la enlainadora.

1.6 FORMAS DE ENLAINADO

A nivel mundial se han desarrollado sistemas de enlainado de tapas, tanto automáticos como semi-automáticos, para que los rollos de liners puedan ser cortados e insertados en las tapas. Los cortes pueden ser en circunferencia, con lengüeta, con tres lengüetas, o bien, en dona, según las necesidades del producto final y de la industria.

Los modelos son de acuerdo al tipo de tapa y a la velocidad requerida. En algunos casos, los equipos periféricos como la tolva, el elevador y el orientador, están integrados a la unidad central de enlainado ofreciendo así, un sistema compacto montado en una plataforma movable.

Las siguientes formas de enlainado mostradas a continuación son las que existen en las grandes industrias de los países con tecnología avanzada como por ejemplo en la China.

Se ha tomado como referencia la fabricación de este tipo de máquinas en este país debido a que existe un gran número y formas con tecnología de punta, además las maquinas instaladas en fabrica son de este origen.

1.6.1 ENLAINADORA DE BEBIDAS CARBONATADAS (MF-30D)

La enlainadora está dotada de dos platos giratorios, los mismos que giran en sentido contrario, si el primero gira en sentido de las manecillas del reloj, el movimiento del segundo es inverso, con esto existe un instante en el cual cada cavidad pasa por el centro realizando el respectivo enlainado.



Figura 4: Enlainadora tipo MF-30D (Made-in-China.com, 2014)

Las características y especificaciones de la enlainadora tipo MF-30D se muestran en la tabla 2:

Tabla 2: *Características de la enlainadora MF-30D (Made-in-China.com, 2014)*

| CARACTERÍSTICAS | ESPECIFICACIONES |
|---|--------------------|
| Diámetro de la tapa | 15-38[mm] |
| Altura de la tapa | 7-25[mm] |
| Productividad | 10000-12000[pcs/h] |
| El poder de la extrusora Calefacción anillo | 2,5[Kw] |
| El poder de la extrusora electro-motor | 2,5[Kw] |
| Instalación eléctrica | 15[Kw] (50 [Hz]) |
| Energía consumida | 8[Kw] |
| Consumo de aire comprimido | 600[NL/min] |

1.6.2 ENLAINADORA PARA TAPAS PLÁSTICAS (JF-29)

La máquina, se utiliza principalmente en el enlainado de tapas de plástico para bebidas gaseosas, se necesita granos de plástico como materias primas que se plastifican, y moldeados a presión. La máquina tiene un pequeño cubicaje de alta eficiencia, operación fácil, el enlainado es suave y agradable, tiene un rendimiento a prueba de fugas y mejor capacidad de resistencia a la presión. A continuación en la tabla 3 se muestran las características.

Tabla 3: *Características de la enlainadora JF-29 (Made-in-China.com, 2014)*

| CARACTERÍSTICAS | ESPECIFICACIONES |
|-----------------------------------|---------------------|
| Capacidad | 10000-12000[pcs/hr] |
| Motor principal | 3[Kw] |
| Motor auxiliar | 3[Kw] |
| Tensión de instalación | 3[Kw] |
| Control de temperatura automática | 380[V] a 50[Hz] |
| Peso | 1600[Kg] |

En la figura 5 se muestra la imagen del modelo de enlainadora JF-29.



Figura 5: Enlainadora modelo JF-29 (Made-in-China.com, 2014)

1.6.3 ENLAINADORA PARA TAPAS PLÁSTICAS (HQS-3)

Este tipo de enlainadoras principalmente son usadas para una alta demanda de productos, este equipo tiene incorporado una banda transportadora, la misma que sube las tapas que están depositados en la bandeja de forma directa a la tolva de alimentación.

Este equipo es completamente automático, el operador únicamente se encarga de abastecer la cantidad de tapas necesaria para que no pare el sistema.



Figura 6: Enlainadora HQS-3 (Made-in-China.com, 2014)

En la tabla 4 se muestran las características y las especificaciones del equipo en análisis.

Tabla 4: *Características de la enlainadora HQS-3 (Made-in-China.com, 2014).*

| CARACTERÍSTICAS | ESPECIFICACIONES |
|---|------------------------|
| Velocidad | Alta |
| Utilización | Fácil |
| Grado de amortiguación | Alto |
| Calidad | Buena |
| Optimización de costos | 5-6 trabajadores. |
| Precisión | Alta |
| Desviación de los liners de inserción | No tiene |
| Costo | Bajo |
| Saneamiento | Fácil de limpiar |
| Medio Ambiente | Libre de contaminación |
| Identificación automática de taponamiento | Eficaz |

1.7 NEUMÁTICA INDUSTRIAL

1.7.1 AIRE COMPRIMIDO

Una de las propiedades de los fluidos es la compresibilidad esto viene a ser facilidad a comprimirse (reducir su volumen) al estar sometido a una determinada presión.

El aire comprimido es una forma de fluido energético muy versátil en la industria. Su calificativo de fluido energético radica en su capacidad de producir un trabajo cuando se descomprime.

La mayoría de las empresas utilizan el aire comprimido en algún tipo de equipo como herramientas de mano, actuadores de válvulas, pistones y maquinaria. En si en todo proceso automático de producción en serie.

En muchos casos, el empleo de aire comprimido es tan vital que la instalación no puede funcionar sin él, como sucede en la implementación de la máquina automática enlainadora, desde la alimentación de tapas hasta la colocación final del liner, existen fuentes neumáticas a

diferente presión y a diferente caudal, los mismos que vienen regulados de acuerdo a cada elemento.

A continuación se muestra las ventajas y desventajas del uso de la neumática en la industria.

VENTAJAS

- Incremento de la producción con una inversión relativamente pequeña.
- Reducción de los costos operacionales.
- Robustez de los componentes neumáticos.
- Facilidad de implantación.
- Resistencia a ambientes hostiles.
- Simplicidad de manipulación.
- Detección de fugas
- Precisión en procesos
- Reducción del número de accidentes. (Parker Hannifin, 2003)

LIMITACIONES

- El aire comprimido necesita de una buena preparación para realizar el trabajo propuesto se debe retirar las impurezas, eliminar la humedad para evitar corrosión en los equipos.
- Los componentes neumáticos son normalmente proyectados y utilizados a una presión máxima de 1723,6 [KPa].
- Velocidades muy bajas son difíciles de ser obtenidas con el aire comprimido, debido a sus propiedades físicas.
- El aire es un fluido altamente compresible, por lo tanto, es imposible conseguir paradas intermedias y velocidades uniformes. (Parker Hannifin, 2003).

1.7.2 VÁLVULAS DE CONTROL DIRECCIONAL

Tienen por función orientar la dirección que el flujo de aire debe seguir, con el fin de realizar un trabajo propuesto.

Para un conocimiento perfecto de una válvula direccional, debe tenerse en cuenta los siguientes datos:

- Posición Inicial
- Número de Posiciones
- Número de Vías
- Tipo de Acción (Comando)
- Tipo de Retorno
- Caudal

1.7.2.1 Número posiciones

Es la cantidad de posiciones o maniobras diferentes que una válvula direccional puede ejecutar o permanecer bajo la acción de su funcionamiento.

Las válvulas direccionales son representadas por un rectángulo, este rectángulo es dividido en cuadrados.

El número de cuadrados representados en la simbología es igual al número de posiciones de la válvula (ver figura 7), representando una cantidad de movimientos que ejecuta a través de los accionamientos. (Parker Hannifin, 2003).

En el ensamblaje de un proyecto es esencial conocer qué tipo de actuador se va usar y el trabajo a realizar, dependiendo de la misma se elige la válvula con la posición adecuada, logrando así gastos indebidos.

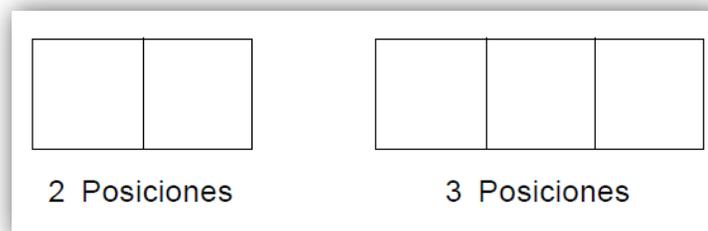


Figura 7: Representacion de las posiciones en válvulas (Parker Hannifin, 2003)

1.7.2.2 Número de vías

Es el número de conexiones de trabajo que la válvula posee. Son consideradas como vías de conexión de entrada de la presión, conexiones de utilización del aire y los escapes.

Es importante tener en cuenta la numeración para la conexión de pasos de aire, una mala maniobra puede ser la causante de accidentes fatales o en el menor de los casos daño de los equipos de manipulación.

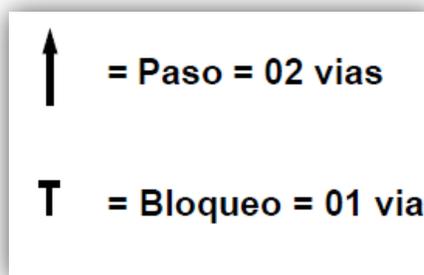


Figura 8: Representación de las vías en válvulas (Parker Hannifin, 2003)

1.7.2.3 Identificación de los orificios de la válvula

La identificación de los orificios de una válvula están normalizadas, las mismas que se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Identificación de los orificios de la válvula (Parker Hannifin, 2003)

| | Norma DIN 24300 | | | Norma ISO 1219 | | |
|-------------|-----------------|---|---|----------------|----|----|
| Presión | P | | | 1 | | |
| Utilización | A | B | C | 2 | 4 | 6 |
| Escape | R | S | T | 3 | 5 | 7 |
| Pilotaje | X | Y | Z | 10 | 12 | 14 |

Para la identificación de entradas y salidas de una válvula, cualquiera que sea su función en el proyecto se utiliza la norma ISO 1219, con el fin de alinearse a la trazabilidad que tiene la fábrica.

1.7.3 TRATAMIENTO DEL AIRE COMPRIMIDO

El esquema básico de una instalación de aire comprimido, la misma que se muestra en la figura 9, responde a una estructura compuesta por un compresor, un equipo receptor final y una conducción que enlaza ambos puntos.

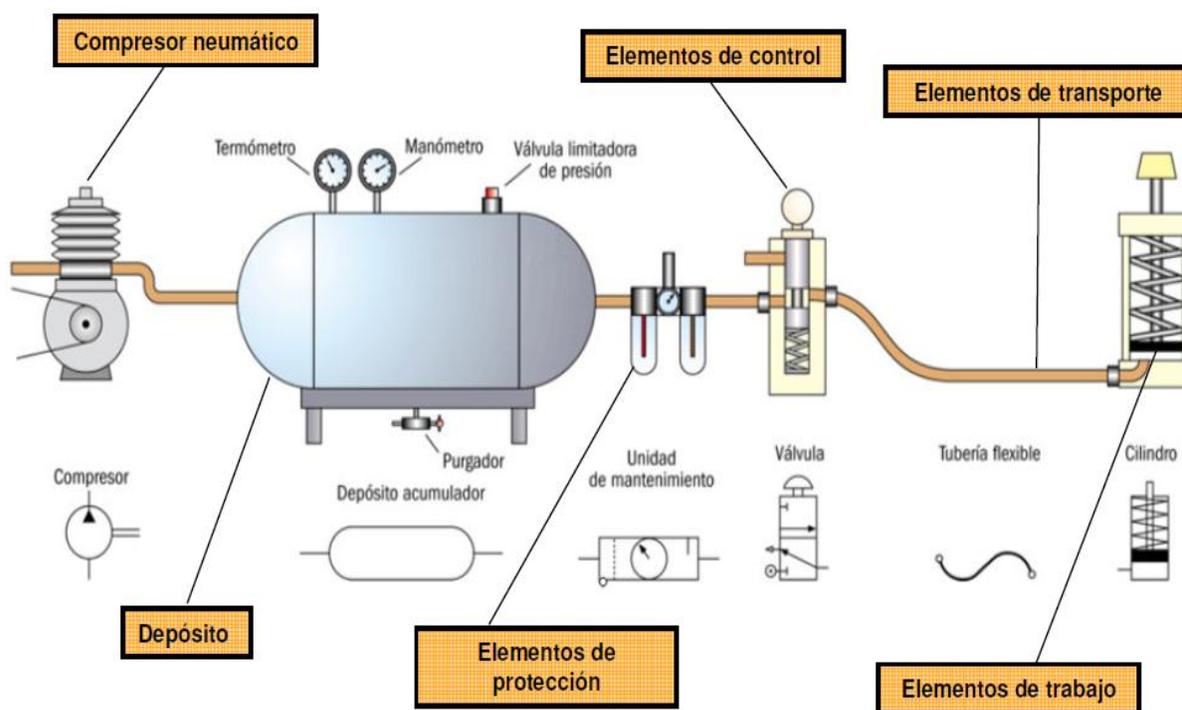


Figura 9: Elementos en el tratamiento del aire comprimido (Hervás, 2008).

El aire, tal y como sale del compresor, es prácticamente inutilizable ya que lleva en suspensión impurezas atmosféricas, agua y restos de aceite, además de obtenerse a alta temperatura debido al proceso de compresión. Significa que en el grupo de producción deben estar presentes también otros componentes auxiliares que hagan, con su presencia, que el aire pueda ser utilizado sin problemas en los diferentes consumidores.

Las impurezas sólidas dañan las juntas y las partes móviles de los componentes, el filtro de entrada retiene las partículas grandes de polvo en suspensión, de la misma forma el sistema está provista de refrigerados que retienen el vapor de agua.

1.7.3.1 Separación de Agua

El agua origina un desgaste prematuro en los componentes neumáticos, ya que arrastra el aceite que lubrica las partes móviles, produce partículas de óxido en las tuberías de distribución, deteriora las tuberías flexibles y favorece la formación de hielo en ambientes de trabajo a baja temperatura.

El secador es el elemento encargado de eliminar la humedad del aire, puesto que a los puntos de consumo debe llegar seco. Si no fuera así aumentaría el desgaste de las máquinas y se reduciría el rendimiento de la instalación, propiciando un mayor coste de producción.

Los métodos más comunes de secado son:

- Secado por Absorción
- Secado por Adsorción
- Secado en Frio

1.7.3.2 Tratamiento final del aire comprimido

Es necesario que cualquier sistema neumático tenga un buen suministro de aire para garantizar además del adecuado funcionamiento del sistema la durabilidad de las piezas.

Para este caso es necesario utilizar un componente a la entrada del sistema neumático capaz de: extraer impurezas del aire tales como óxidos; disminuir la humedad del aire; lubricar el aire para garantizar la lubricación de piezas con movimientos relativos. Dicho componente es la llamada unidad de mantenimiento, de este último las partes por las que está formada se detalla a continuación.

- **La lubricación**

Tiene como objetivo disminuir el desgaste de las partes móviles del sistema, introduciendo una película de aceite entre las mismas, que evite el rozamiento entre sus superficies.

El mejor sistema para lubricar una instalación neumática consiste en introducir el aceite en forma de niebla en el propio aire comprimido, pues éste llega a todos los puntos de la instalación, siendo el transporte ideal para el aceite de lubricación, cabe recalcar que esto no se

aplica cuando el aire está en contacto directo con el producto final, aplicado principalmente en industrias alimenticias

- **Filtro de Aire**

Tiene la misión de eliminar las últimas impurezas que puede llevar el aire. Las impurezas, tanto sólidas como líquidas, chocan contra las paredes del recipiente, caen al fondo y son evacuadas al exterior a través de una purga, que puede ser manual o automática.

- **Regulador de presión y manómetro.**

La válvula reguladora, reduce la presión de la red al nivel requerido de la instalación y lo mantiene constante aunque haya variaciones en el consumo, estas variaciones pueden ser por la instalación defectuosa u averías en las tuberías.

A continuación se muestra las recomendaciones para tener una buena instalación neumática.

- Colocar la tubería de modo que se elijan las distancias más cortas, procurando que las conducciones sean lo más rectas posibles.
- El montaje de las tuberías será aéreo para facilitar su inspección y mantenimiento.
- Las sujeciones de las tuberías se realizarán de forma que permitan su variación de longitud cuando se produzcan cambios de temperatura, sin que tengan lugar las deformaciones ni tensiones adicionales.
- No deben realizarse nuevas tomas o salidas de aire sin comprobar antes si los diámetros de las tuberías son todavía suficientes, para una cantidad adicional de aire.
- La pendiente de las tuberías será del 1% en la dirección del flujo.
- Las tomas de aire en tuberías no deben hacerse nunca en la parte inferior de la tubería, sino en la parte superior.
- La pérdida de presión hasta el punto más desfavorable se un máximo de 0,6[bar].

1.7.4 ACTUADORES

El actuador más común es el manual o humano; es decir, una persona mueve o actúa sobre un dispositivo para promover su funcionamiento.

En función de la fuente de energía utilizada pueden ser neumáticos o hidráulicos, el primero para su trabajo usa el aire comprimido estos equipos se utilizan para transmitir pequeños esfuerzos a altas velocidades, el segundo aprovechan la propiedad que tienen los líquidos de transmitir presión de manera uniforme a lo largo de todo el fluido cuando son comprimidos. Además de los mencionados anteriormente están los eléctricos, estas como se especifica para su funcionamiento es necesario una fuente de energía en el área de trabajo.

En la figura 10 se muestra la clasificación de los actuadores por la fuente de energía utilizada.

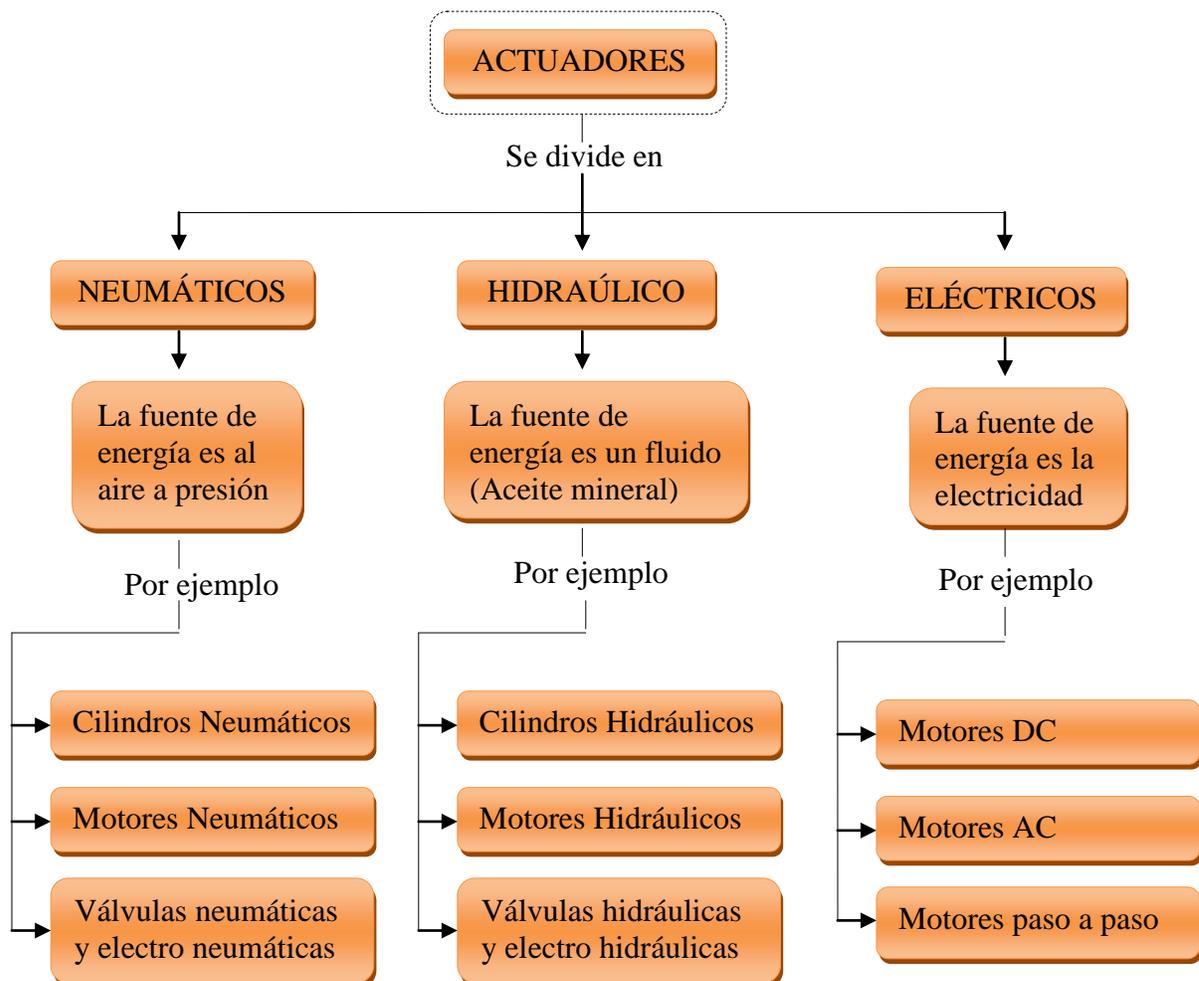


Figura 10: Clasificación de actuadores según el tipo de energía (Ángela, 2011)

En el proyecto se utilizan los actuadores neumáticos, cada tipo de actuador tiene su ventaja y desventaja al momento de ensamblar un proyecto, si no se instala de forma adecuada y con el correcto equipamiento existe un alto riesgo de dañar no solo el proceso de producción, también la persona que la manipula en este caso el técnico de turno o el operador de la maquina está expuesta a estos riesgos que son fatales. La persona que sufre un incidente debe reportar inmediatamente para realizar las respectivas correcciones antes que se convierta en falla.

1.7.4.1 Actuadores Neumáticos

Lo energía del aire comprimido se transforma por medio de cilindros en un movimiento lineal de vaivén, y mediante motores neumáticos, en movimiento de giro. Se realiza énfasis en la clasificación de este tipo de actuadores por tener aplicado cada uno de los mismos en el ensamble de máquina.

El movimiento lineal se obtiene por cilindros de émbolo (éstos también proporcionan movimiento rotativo con variedad de ángulos por medio de actuadores del tipo piñón-cremallera). También encontramos actuadores neumáticos de rotación continua (motores neumáticos), movimientos combinados e incluso alguna transformación mecánica de movimiento que lo hace parecer de un tipo especial. (Manuel Vega Díaz, 2009)

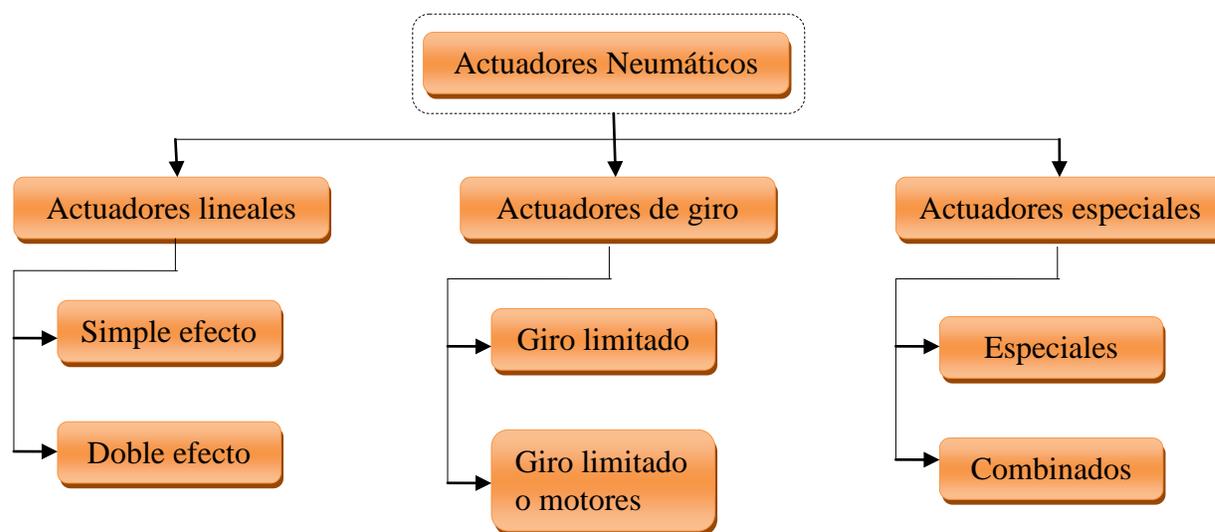


Figura 11: Clasificación de actuadores neumáticos (Manuel Vega Díaz, 2009)

1.8 GENERADORES DE VACÍO

Se llama vacío al campo de las presiones inferiores a la atmosférica. El vacío se mide a partir del cero relativo (presión atmosférica) como una presión negativa, siendo el valor máximo de -1,013[bar] (vacío absoluto).

La diferencia de presiones entre el vacío y la presión atmosférica, convenientemente aplicada sobre superficies, arrojará como resultante una fuerza de succión, que sumada a la posibilidad de desplazamiento, permite obtener trabajo utilizable en la automatización. (MICROautomación, 2014)

Se pueden utilizar distintos generadores de vacío, por norma general, se distinguen las siguientes:

- Eyector
- Bomba de vacío
- Soplante de vacío

Cada uno de los anteriores tiene diferente funcionamiento razón por el cual se muestra a continuación la descripción de cada uno de los especificados.

1.8.1 EYECTOR

Los eyectores son generadores de vacío puramente neumáticos que funcionan según el principio de Venturi.

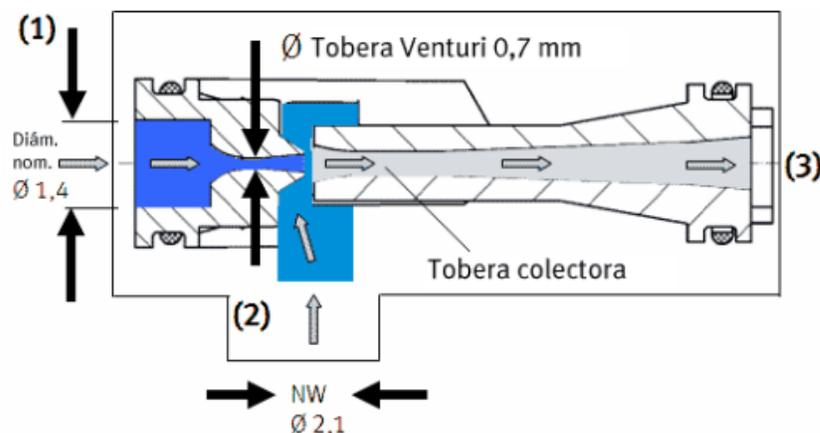


Figura 12: Generador de vacío con efecto Venturi (FESTO, 2014)

VENTAJAS

- No tiene componentes de rotación, por lo que precisan poco mantenimiento y no sufren desgastes.
- Construcción compacta.
- No se produce formación de calor
- Peso reducido
- Rápido establecimiento del vacío
- Se pueden montar en cualquier posición. (SCHMALZ, 2014)

1.8.2 BOMBAS DE VACÍO

Las bombas de vacío son generadores eléctricos de vacío capaces de generar altas depresiones con caudales volumétricos de entre 4 y 250 [m^3/h].

VENTAJAS

- Se puede conseguir altas depresiones con altos volúmenes de aspiración
- Se puede utilizar como generación central de vacío
- Precisan poco mantenimiento. (SCHMALZ, 2014).

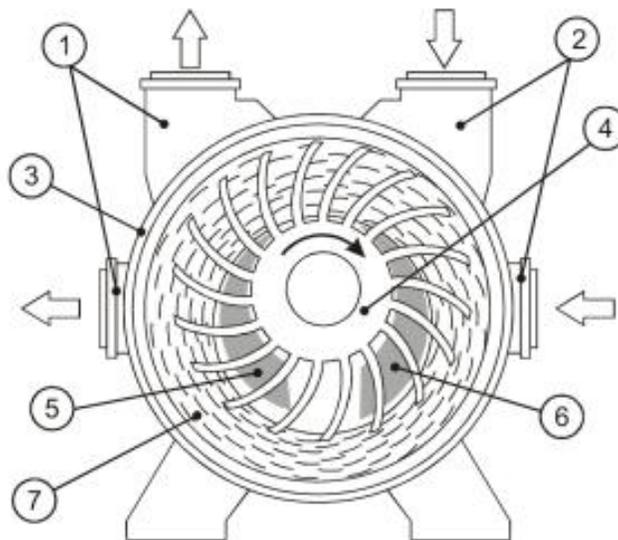


Figura 13: Componentes de la bombas de vacío (Mecantech, 2011)

La enumeración de la figura 13 representa lo siguiente:

1. Salidas de aire
2. Entradas de aire
3. La carcasa
4. Rotor
5. Salida de aire aspiración
6. Entradas frontales de aspiración
7. Anillo concéntrico

1.8.3 SOPLANTES DE VACÍO

El principio de funcionamiento de los soplantes de pistones rotativos se basa en trasladar un fluido por la cámara de trabajo debido al movimiento giratorio, de los pistones rotativos respecto la parte fija o estator.

VENTAJAS

- Enorme capacidad de aspiración
- Alta compensación de fugas
- Posibilitan la manipulación de piezas porosas. (SCHMALZ, 2014).

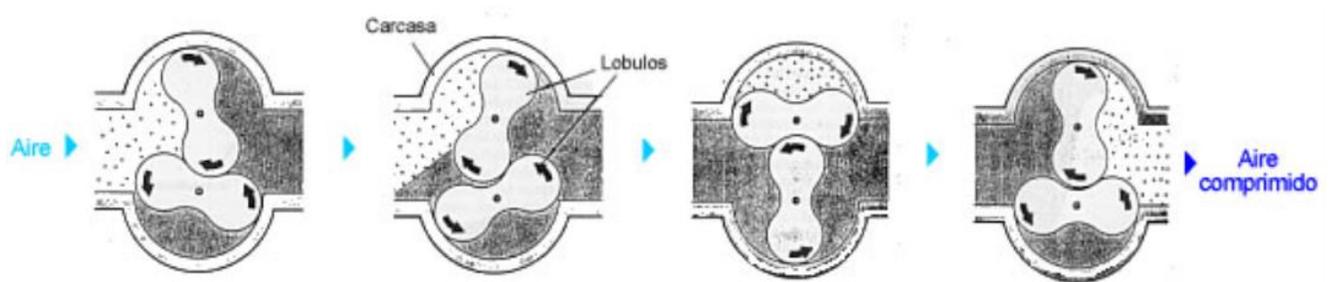


Figura 14: Funcionamiento de un soplador de aire (Maganeboy, 2014)

1.9 PROGRAMACIÓN DEL AUTÓMATA

Un controlador lógico programable es un sistema de control de estado sólido que monitorea la condición de los equipos que están conectados como entradas.

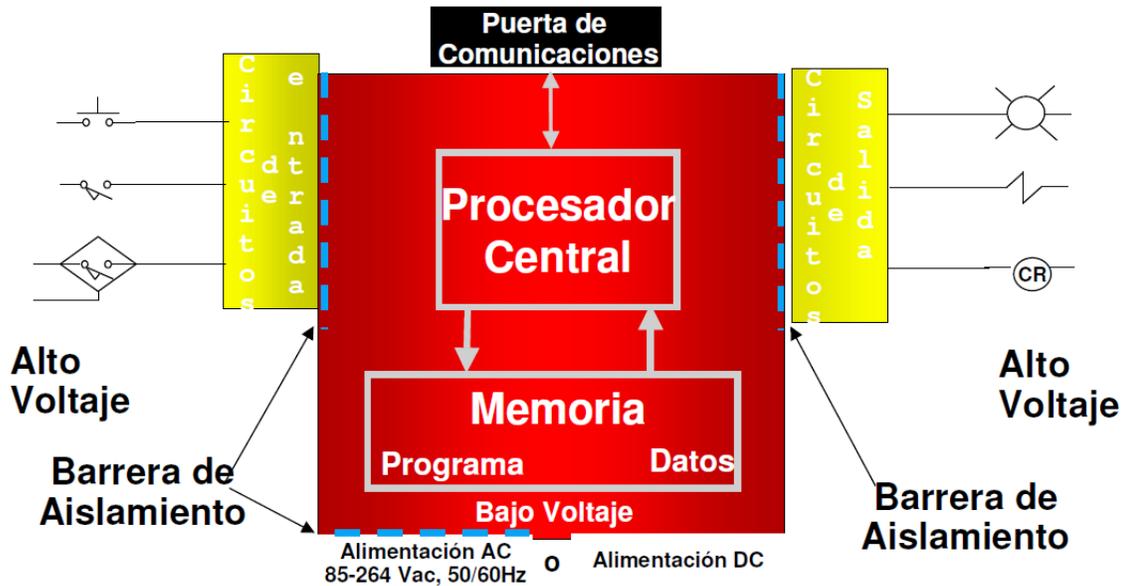


Figura 15: Esquema interno del PLC (WESCO DISTRIBUTION, 2010).

VENTAJAS

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado y añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor coste de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta de funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata útil para otra máquina o sistema de producción. (David, 2008).

DESVENTAJAS

- El costo inicial de lo que implica automatizar una tarea con un PLC es muy elevado.

- La gran desventaja de un PLC es que antes de automatizar una tarea en la industria, es necesario tener en cuenta todos los detalles de lo que se debe hacer para que nada salga mal.
- La tarea o el proceso depende totalmente y enteramente del código de la programación. Esta no puede estar mal. Por ello, el programador debe ser muy bueno.

La programación de un controlador lógico programable tiene una serie de pasos las mismas que se muestran a continuación.

- Determinar qué debe hacer el sistema de control y en qué orden.
- Identificar entradas y salidas al autómeta.
- Representar mediante un modelo el sistema de control, funciones, relaciones entre ellas, y secuencia que deben seguir.
- Asignar direcciones de entrada, salida o internas a cada componente que aparece en el sistema.
- Llevar la representación anterior a un lenguaje de autómeta programable.
- Depurar, simular y transferir a la memoria del autómeta el programa.

1.9.1 REQUERIMIENTOS PARA LA PROGRAMACIÓN

El paquete de programación STEP 7-Micro/WIN constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y observar el programa necesario con objeto de controlar la aplicación en desarrollo. (SIEMENS, 2008).

STEP 7-Micro/WIN se puede ejecutar en un ordenador (PC), o bien en una programadora de Siemens. El PC o la PG deben cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Sistema operativo: Windows 2000, Windows XP, Vista
- 350 [Mb] libres en el disco duro (como mínimo).
- Ratón (recomendado).

1.9.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN PROGRAMA

Siemens ofrece dos opciones de programación para conectar el PC al S7-200, a saber: una conexión directa vía un cable PPI multimaestro, o bien un procesador de comunicaciones (CP) con un cable MPI.

El cable de programación PPI multimaestro es el método más usual y más económico de conectar el PC al S7-200. Este cable une el puerto de comunicación del S7-200 con el puerto serie del PC. El cable de programación PPI multimaestro también se puede utilizar para conectar otros dispositivos de comunicación al S7-200.

Luego especificar el software de programación y el cable de carga es necesario especificar que un bloque de programa se compone del código ejecutable y los comentarios.

El código ejecutable comprende el programa principal, así como subrutinas y/o rutinas de interrupción (opcionales). El código se compila y se carga en el S7-200, a excepción de los comentarios del programa. Las unidades de organización (programa principal, subrutinas y rutinas de interrupción) sirven para estructurar el programa de control. (SIEMENS, 2008).

1.9.3 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN DE PLC'S

Los lenguajes de programación son necesarios para la comunicación entre el usuario (sea programador u operario de la máquina o proceso donde se encuentre el PLC) y el PLC. La interacción que tiene el usuario con el PLC la puede realizar por medio de la utilización de un cargador de programa (Loader Program) también reconocida como consola de programación o por medio de un PC. (Sena Virtual, 2009)

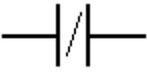
Actualmente existen tres tipos de lenguajes de programación de PLC's como los más difundidos a nivel mundial; estos son:

1.9.3.1 Lenguaje de contactos o Ladder

El LADDER, también denominado lenguaje de contactos o de escalera, es un lenguaje de programación gráfico muy popular dentro de los Controladores Lógicos Programables (PLC), debido a que está basado en los esquemas eléctricos de control clásicos. (Yugsi, 2009).

En la tabla 6 se puede observar los símbolos de los elementos básicos de programación junto con sus respectivas descripciones.

Tabla 6: Elementos básicos para la programación Ladder (Yugsi, 2009)

| Símbolo | Nombre | Descripción |
|---|----------------|--|
|  | Contacto NA | Se activa cuando hay un uno lógico en el elemento que representa, esto es, una entrada (para captar información del proceso a controlar), una variable interna o un bit de sistema. |
|  | Contacto NC | Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando hay un cero lógico, cosa que deberá de tenerse muy en cuenta a la hora de su utilización. |
|  | Bobina NA | Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un uno lógico. Su activación equivale a decir que tiene un uno lógico. Suele representar elementos de salida, aunque a veces puede hacer el papel de variable interna. |
|  | Bobina NC | Se activa cuando la combinación que hay a su entrada (izquierda) da un cero lógico. Su activación equivale a decir que tiene un cero lógico. Su comportamiento es complementario al de la bobina NA. |
|  | Bobina SET | Una vez activa (puesta a 1) no se puede desactivar (puesta a 0) si no es por su correspondiente bobina en RESET. Sirve para memorizar bits y usada junto con la bina RESET dan una enorme potencia en la programación. |
|  | Bobina SET | Permite desactivar una bobina SET previamente activada. |

Una vez conocidos los elementos que LADDER proporciona para su programación, resulta importante resaltar cómo se estructura un programa y cuál es el orden de ejecución.

En el esquema 16 se representa la estructura general de la distribución de todo programa LADDER, contactos a la izquierda y bobinas y otros elementos a la derecha.

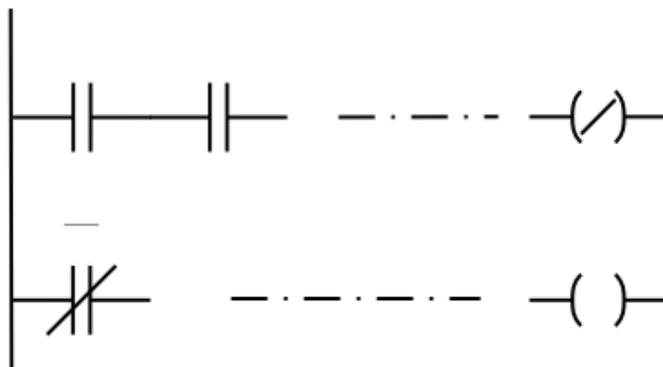


Figura 16: Estructura de programación Ladder (Yugsi, 2009)

En cuanto a su equivalencia eléctrica, podemos imaginar que las líneas verticales representan las líneas de alimentación de un circuito de control eléctrico.

El orden de ejecución es generalmente de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, primero los contactos y luego las bobinas, de manera que al llegar a éstas ya se conoce el valor de los contactos y se activan si procede. El orden de ejecución puede variar de un controlador a otro, pero siempre se respetará el orden de introducción del programa, de manera que se ejecuta primero lo que primero se introduce.

1.9.3.2 Diagrama de Funciones

Es un lenguaje gráfico que permite al usuario programar elementos (bloque de funciones del PLC) en tal forma que ellos aparecen interconectados al igual que un circuito eléctrico. Generalmente utilizan símbolos lógicos para representar al bloque de función. Las salidas lógicas no requieren incorporar una bobina de salida, porque la salida es representada por una variable asignada a la salida del bloque. (Yugsi, 2009).

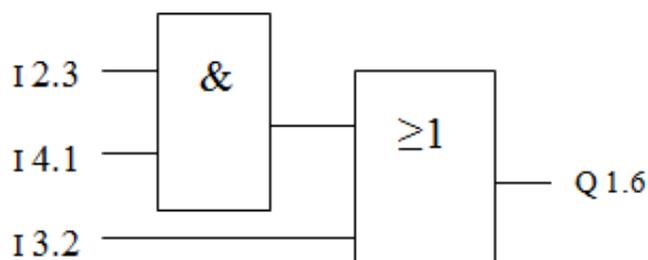


Figura 17: Ejemplo de estructura con bloques (Yugsi, 2009).

1.9.3.3 Lenguaje Boleano

El lenguaje Boleano utiliza la sintaxis del Álgebra de Boole para ingresar y explicar la lógica de control. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos, haciendo uso de operadores Booleanos (AND, OR, NOT, etc.) y otras instrucciones nemónicas, para implementar el circuito de control. (Yugsi, 2009).

En la siguiente tabla se muestra las instrucciones típicas básicas usadas en este lenguaje.

Tabla 7: *Lista de Instrucciones del lenguaje boleano*

| Campo Operación | | | | Operando |
|-----------------|-------|-----|-----|-------------------------|
| OR | AND | NOT | | Booleanas |
| LD | OUT | SET | RST | Carga y asignación |
| TIM | CNT | | | Contador y temporizador |
| ADD | SBB | MUL | DIV | Aritméticas |
| CMP | SHIFT | MOV | | Manejo de datos |
| END | JMP | MCS | | Gestión de programa |

CAPÍTULO II

REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Se trata de ensamblar un sistema de enlainado automático en un ambiente de producción continuo. Se tiene inyectoras de gran capacidad las cuales producen tapas en serie y de manera constante debido a la alta demanda de productos, de forma paralela la sopladora con los envases necesarios para compensar dicha necesidad.

El ciclo de la producción termina con la implementación de una máquina de inserción de liners, la velocidad es acorde a la producción de las sopladoras y de las inyectoras de planta.

El funcionamiento del proyecto inicia con la salida de las tapas de la inyectora, las mismas que son ubicadas en un alimentador automático de tapas, en este se orienta en una forma correcta (boca arriba), para luego ser transbordadas mediante una cinta transportadora hacia el subsistema de posicionamiento de cuatro tapas, en ese instante al tener las cuatro tapas posicionadas el sistema giratorio toma los liners de la porta liners y las coloca en cada una de las tapas, así dando inicio un proceso en serie de forma cíclica.

El proceso en general está dotado de actuadores y sensores de gran precisión, las mismas que son controladas mediante un PLC.

2.1 ESTABLECIMIENTO DE REQUISITOS

Desde el punto de vista de la operación diaria, el principal objetivo es preservar las condiciones de disponibilidad y confiabilidad de funcionamiento, de la diversidad de activos tecnológicos que interactúan en la enlainadora.

Las variables principales de servicios industriales que intervienen para el correcto funcionamiento de la enlainadora son: la electricidad y el aire comprimido, en la fábrica de implementación se tiene fuentes de voltaje 110[V], 220[V] y 440[V], de la misma manera se tiene un compresor 100[PSI] instalado en el proceso de producción.

2.1.1 ALTERNATIVAS DE ALIMENTADORA DE TAPAS

Existen diferentes modelos de alimentadoras o acomodadoras de tapas en el mercado, las cuales tienen su aplicación para la industria del plástico, farmacéutica, de alimentos y bebidas, y cosméticos, tomando en cuenta todo esto, el interés de estudio son las alimentadoras en industrias plásticas, cabe recalcar que se analiza la forma y diseño para tapas plásticas.

La calidad del producto y el rendimiento general de la producción dependen de la elección del procedimiento más adecuado. A continuación se muestra de forma detallada algunas de las alimentadoras que presentan los grandes fabricantes, las mismas que tienen la característica de alimentar y orientar piezas una tras otra de manera ordenada y rítmica para ser transportadas en el canal.

2.1.1.1 Alimentadores Vibratorios

Es una máquina que, por medio de una vibración angular, permiten que las partes avancen a través de una serie de selectores y trampas, que separan, seleccionan y orientan las mismas, dependiendo de las características geométricas del alimentador, es decir, permiten que una parte caiga o se acomode en una posición específica.



Figura 18: Alimentador Vibratorio (Orientech, 2014)

Este tipo de alimentadores son utilizados para alimentar y orientar piezas en procesos automáticos, lo encontramos en dos formas circulares y lineales, son aplicables en una extensa gama de productos de formas simples y complicadas.

La función principal de este tipo de alimentadores es acomodar las partes en la posición en la que pueden ser recibidas por el equipo que realizará el proceso y llevarlas al punto de alimentación en esa posición, en ocasiones los alimentadores han sido utilizados para separar partes diferentes, detectar defectos en las partes o acumular una gran cantidad de partes disponibles al proceso.

Ventajas

- Operación confiable, bajo consumo de energía.
- Equipado con un motor de velocidad ajustable, el cual hace que la capacidad de control alimentador sea fácil.
- El diseño puede ayudar al dispositivo de alimentación a evitar el bloqueo del material.
- Su control no es complejo para lograr la orientación y la alimentación.
- La alimentación del producto al sistema transportador es constante.

Desventajas

- Ruido constante por la vibración.
- No puede orientar uniformemente los objetos.
- La alimentación de las tapas no es instantánea.
- Diseño y construcción sofisticado.

2.1.1.2 Alimentadores Centrífugos

Este tipo de alimentadores orienta tapas sobre su costado utilizando la fuerza centrífuga y las transporta horizontalmente con la ayuda de una correa redonda, diseñada para garantizar una alimentación suave y de alta velocidad de orientación y clasificación de diferentes tipos de piezas. En la parte superior de la tolva existe un soplador que ayuda a controlar que todas las tapas estén boca arriba para evitar el mal posicionamiento de las tapas.

En Orientech estos alimentadores están fabricados sobre un armazón rígido de acero soldado, con un marco recubierto de pintura epóxica y un disco central de polietileno. El tazón, en colado de aluminio es prefabricado de tal forma que evita desgaste y tiene una forma curva

para permitir diferentes posiciones del disco central maximizando así la eficiencia de alimentación. En la figura 19 se observa la estructura física de un alimentador centrífugo.

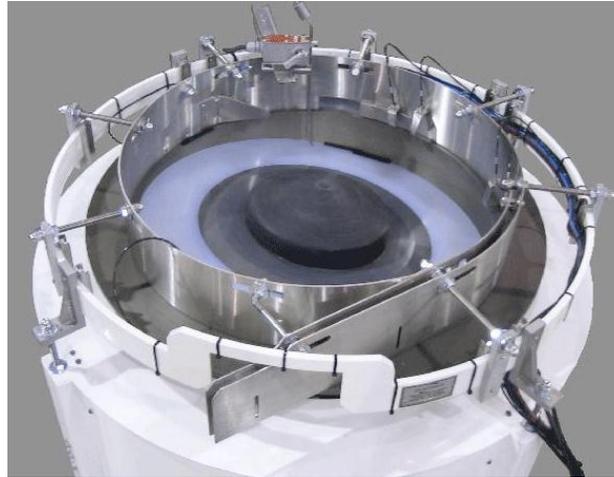


Figura 19: Alimentador Centrífugo (Orientech, 2014).

Ventajas

- Equipo compacto y versátil.
- Alimentación uniforme.
- Manipulan una gran variedad de componentes a diferentes velocidades.
- Cambio rápido de herramental de un producto al otro
- Base con altura regulable, con o sin elevador mecánico.
- Sujetadores de rápida apertura, marcas de referencia e instrucciones de ajuste.
- Sistema completo que garantiza un rendimiento adecuado y que reduce costos.

Desventajas

- Sincronización de componentes alta.
- Diseño y construcción sofisticado.

2.1.1.3 Alimentación con recarga

Estos equipos son utilizadas para orientar y alimentar tapas teniendo a la tolva elevadora y orientador en el mismo equipo, también pueden ser utilizados en caso de querer alimentar piezas especiales, las cuales requieren excesivo cuidado en el manejo de las mismas.

Los alimentadores de este tipo están dotados principalmente por un motor reductor que transmite su potencia a una banda inclinada generalmente 70 grados, que está divididas por secciones dependiendo de los diámetros de las tapas.



Figura 20: Alimentador con elevador (SAPLI SOLUTIONS, 2013)

Las tolvas de alimentación están construidas en acero inoxidable y su función es de contener las tapas, que posteriormente serán transportadas por la banda de selección a un soplador que se encuentra en la parte superior, la cual provoca que las tapas opten cierta velocidad y no se traben o se desvíen de la pista, si en caso existiese un obstáculo mayor a la fuerza del aire comprimido se tendrá una falla general en el sistema.

Esta máquina orienta las tapas por mediación de unas paletas colocadas en la banda elevadora que rechazan las tapas mal orientadas por gravedad, caen de forma directa a la tolva recolectora para ser nuevamente subida por la banda inclinada.

Ventajas

- Es de retroalimentación automática.
- Son máquinas de producción continua a gran escala.
- Las tapas mal posicionadas caen a la tolva evitando el mal posicionamiento.
- No necesitan de mayor mantenimiento.
- Los elevadores mantienen en forma controlada la recarga de piezas en los alimentadores.

Desventajas

- El área de trabajo es grande.
- Alta precisión en el diseño.
- La alimentación es variada.

2.1.2 REQUERIMIENTOS DEL SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

A continuación se muestran las exigencias que tienen el sistema automático de enlainado de tapas para su eficaz funcionamiento.

- El equipo diseñado debe ser capaz de alimentar y orientar tapas plásticas de 40×17 [mm] en el proceso automático, para garantizar su inyección a la pista de alimentación.
- La velocidad de producción será independiente de los demás bloques.
- El funcionamiento será semiautomático, con la finalidad de que el esfuerzo humano, la manipulación del producto y los costos sean menores.
- El equipo necesita monitoreo y calibración para el correcto funcionamiento.
- El funcionamiento y el arranque del alimentador no depende de las variables del sistema.
- El mantenimiento del equipo deberá ser versátil, evitando que los elementos sean de difícil acceso.
- El elemento mecánico detector de posición de tapas (boca arriba o boca bajo), deberá ser preciso.

- La salida del alimentador deberá ser a presión, la misma que permitirá que las tapas vayan en línea recta.
- Al acumularse tapas en la pista transportadora, no debe causar interferencias en el enlainado y en el funcionamiento del alimentador.

2.1.2.1 GUÍAS DESLIZANTES

Las guías son diseños estáticos que dependen del material de construcción, la forma, y en algunos casos de una fuerza externa como un chorro de aire en la parte superior, y necesariamente del tipo de objeto a ser transportados, el cual cae y se desliza por efecto de la gravedad desde una determinada altura.



Figura 21: Guía de gravedad con varillas de acero inoxidable

Este tipo de transportador es aplicable especialmente para aquellos objetos que no presenten rugosidad alguna, debido a que no existe una fuerza externa que traslade de un lugar a otro al mecanismo de transporte, en las industrias plásticas la única fuerza es la de un chorro de aire colocada de forma correcta a la salida del alimentador, el cual ayuda a deslizarse con velocidad a la pieza en este caso a la tapa.

A continuación en las tablas 8 y 9 se muestran el análisis y la comparación de cada alternativa, de acuerdo al análisis expuesto se concluirá el equipo a ser montado en el proyecto implementado.

Tabla 8: *Análisis Técnico de alimentadores de tapas*

| ALIMENTADOR | VELOCIDAD | | | OPERACIÓN | | MANTENIMIENTO | |
|-------------|-----------|-------|------|-----------|-------|---------------|-------|
| | Alta | Media | Baja | Complejo | Fácil | Complejo | Fácil |
| Vibratorio | X | x | x | | x | x | |
| Centrífugo | X | x | x | | x | | x |
| Con recarga | X | x | x | | x | x | |

Tabla 9: *Análisis de operación con alimentadores de tapas*

| ALIMENTADOR | REPUESTOS | | RUIDO | | ALIMENTACIÓN | |
|-------------|-----------|--------------|-------|------|--------------|---------|
| | Accesible | No accesible | Alto | Bajo | Instantánea | Variada |
| Vibratorio | | x | x | | | x |
| Centrífugo | x | | | x | x | |
| Con recarga | x | | | x | x | |

2.1.3 SELECCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN

La mayor parte de las veces, para decidir entre diversas alternativas de solución a un mismo caso basta conocer el orden de preferencia según las características técnicas.

Los criterios de evaluación fueron obtenidos por convenio entre el autor del presente proyecto y los representantes de la empresa Induplast, las mismas que son velocidad regulable, fácil operación, el mantenimiento no debe ser complejo con repuestos accesibles, con bajo ruido y lo más importante la alimentación debe ser constante.

Como conclusión después de hacer el análisis de requerimientos y observar las tablas 7 y 8, el alimentador que cumple con las características especificadas para el enlainado de tapas es el

alimentador centrífugo, la misma que se une al sistema de enlainado por medio de la guía deslizante.

2.2 DETERMINACIÓN DE REQUISITOS DEL SISTEMA

Este proyecto se lo divide en tres subsistemas y se conforman de los siguientes elementos:

1. Subsistema Mecánico
 - Alimentación de tapas
 - Traslación y posicionamiento de tapas
 - Inserción de liners
2. Subsistema de Neumático
 - Manifold de electroválvulas 24 [V] DC
 - Actuadores Neumáticos
 - Bomba de vacío
3. Subsistema de control
 - Sensores
 - PLC

En un sistema automático todo y cada uno de los elementos que lo forman tienen una función específica y un orden sincronizado a seguir, en el proyecto se lo divide en tres partes fundamentales las mismas que actúan dependiendo de la posición o señal anterior.

En el proyecto no se tiene actuadores netamente mecánicos, la función principal de estos elementos es ser soporte o unión para los otros subsistemas, la mayoría de los actuantes son neumáticos razón por la cual se toma como otro subsistema acoplada directamente con las señales del sistema de control.

Como un ejemplo tenemos el control del eje giratorio del sistema, el mismo que depende de la señal de los cilindros verticales para que el actuador giratorio por medio de la electroválvula de control a través del PLC cambie de posición a la válvula básica haciendo que cambie de giro de 0° a 180°.

En la figura 22 se presenta sistematizando la estructura de bloques que forman parte de este proyecto, destacando en una forma más clara los subsistemas por bloques representativos.

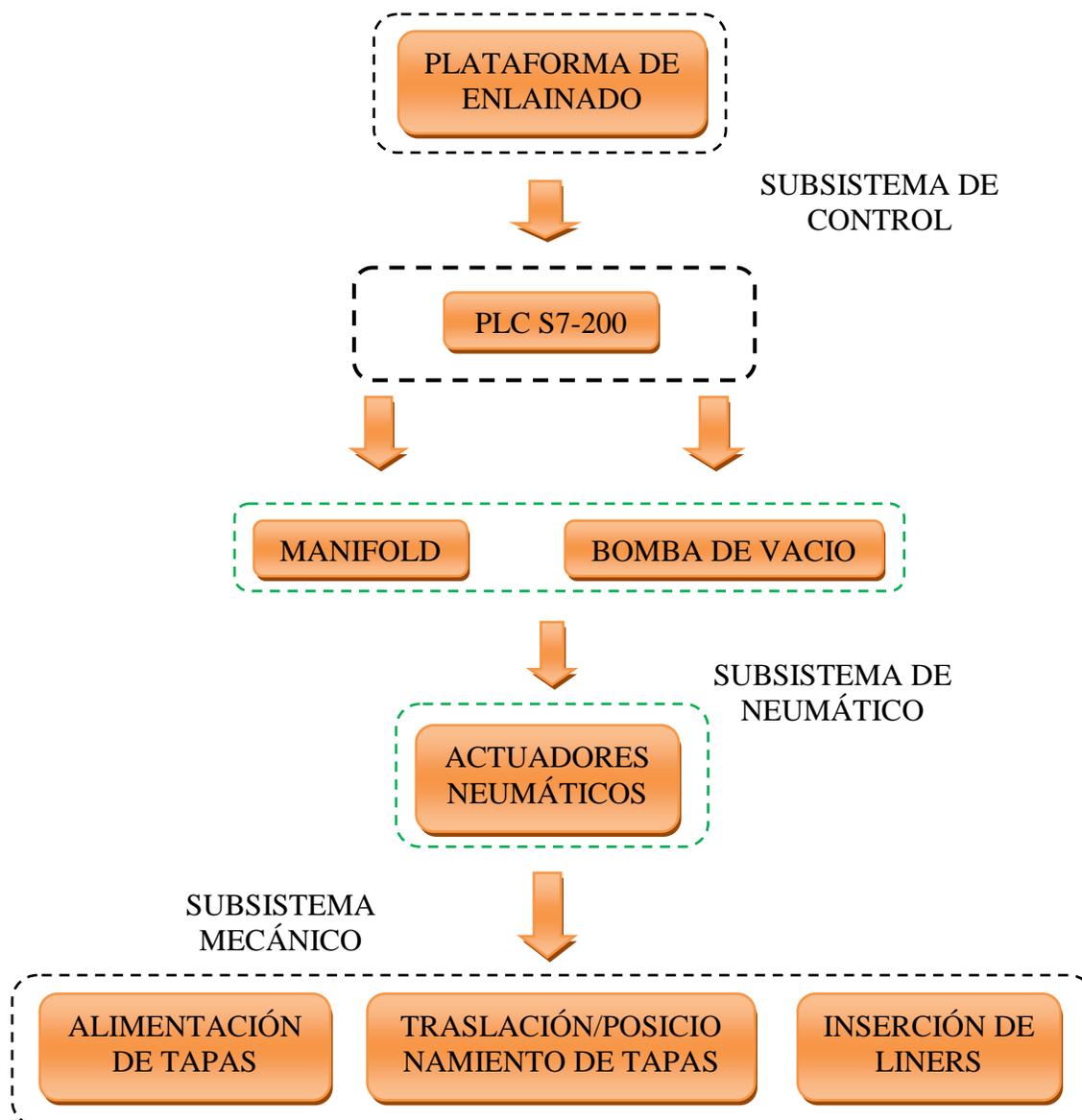


Figura 22: Diagrama de bloques del sistema

2.2.1 SUBSISTEMA MECÁNICO Y NEUMÁTICO

Se realiza el análisis de los dos subsistemas en el mismo apartado por dos razones específicas, la primera debido a que tienen una relación directa en el trabajo a realizar y la segunda porque los actuadores a implementar son netamente neumáticos, lo único que hacen los mecánicos es servir de acople y sujeción para el buen desenvolvimiento de los actuantes expuestos.

2.2.1.1 Alimentación de tapas

Este elemento está enlazado directamente con la máquina alimentadora de tapas, la misma que se describió anteriormente, el objetivo de este elemento es servir o ser el camino por el cual transitan las tapas en todo el proceso hasta ser dotadas de liners, en este trayecto al inicio se tiene un chorro de aire localizado en la parte superior, el fluido tiene dos objetivos acelerar la velocidad de avance y que la tapa mal situada (boca bajo) sea obligada a caer fuera del proceso del proyecto.

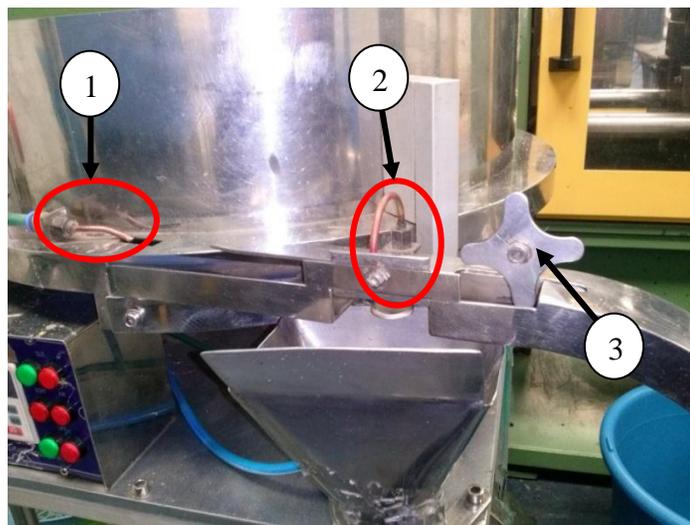


Figura 23: Elementos de la alimentación de tapas

Dónde:

- 1.- Chorro de aceleración de tapas
- 2.- Chorro de desalojo de tapa mal posicionada
- 3.- Mecanismo separador de tapas

Las tapas luego de pasar por el mecanismo expuesto anteriormente caen por gravedad a la pista vertical fija y su avance es a base de presión por las nuevas tapas provenientes de la tolva.

A continuación en la figura 24 se muestra el diseño de la pista de alimentación implementada.

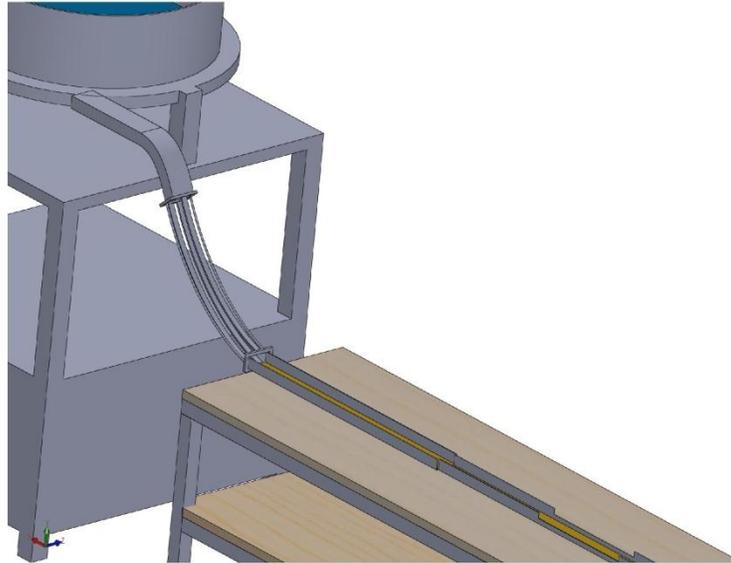


Figura 24: Pista de alimentación de tapas

2.2.1.2 Traslación de tapas.

Para trasladar las tapas es necesario mover una distancia específica cuatro tapas las mismas que empujen a otras cuatro que posteriormente fueron movidas por el mismo mecanismo, hasta llegar al punto exacto de inserción de liners, este es un movimiento repetitivo según la demanda de las tapas.

A continuación en la figura 25 se muestra con detalle el trabajo que debe realizar el mecanismo en análisis.

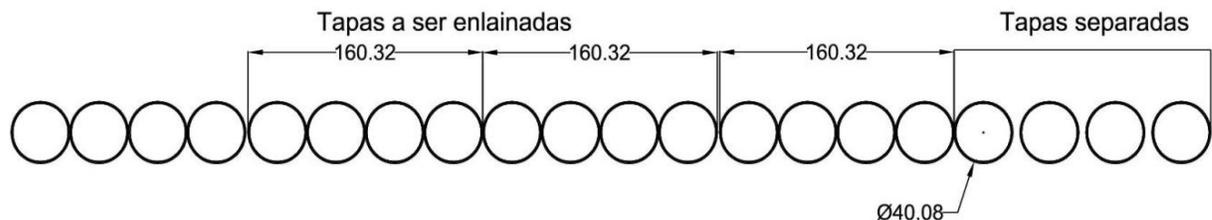


Figura 25: Recorrido de tapas

Según la figura 25, para este mecanismo es necesario dos cilindros el primero tiene como misión tomar las cuatro tapas y el segundo actuar después del primero simplemente

recorriendo la distancia específica con las cuatro tapas, hasta llegar al punto de enlainado, así como se muestra en las figuras 26 y 27 respectivamente.

En la figura 26 se tiene los cilindros en la posición inicial, el cilindro grande con el vástago contraído (-) y el segundo (pequeño) con el vástago fuera (+), este último con el objetivo que las tapas no avancen hacia el lugar de inserción de liner.

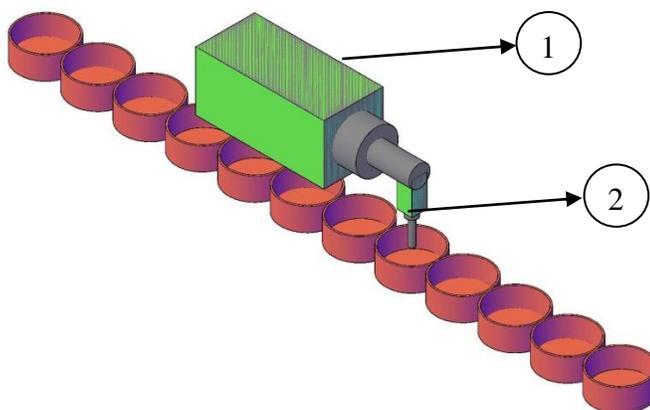


Figura 26: Posición inicial de la traslación de tapas

Después de recibir las electroválvulas de control la respectiva señal de alimentación, cambian de estado las válvulas básicas y por consecuencia la posición del embolo tomando forma como se muestra en la figura 27.

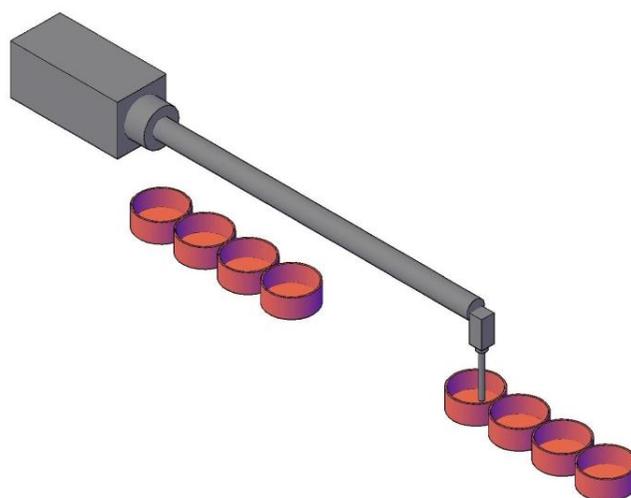


Figura 27: Posición inicial de la traslación de tapas

Las características mostradas en la tabla 10 se toma de la sumatoria de distancias que ocupan las cuatro tapas de 40[mm] de diámetro, de la misma manera para el cilindro pequeño según la altura de la tapa que es 17[mm]. No se detalla más características debido a que las cargas a mover por cada uno de los cilindros son despreciables.

Tabla 10: Características de los cilindros de traslación

| DETALLE | CILINDRO 1 | CILINDRO 2 |
|-------------------------|--------------|--------------|
| Forma de funcionamiento | Doble efecto | Doble efecto |
| Recorrido | 160-180[mm] | 10-15[mm] |

Es necesario fabricar soportes mecánicos de tal manera que el cilindro 1 (véase figura 26) esté fijo y no tenga ningún grado de libertad, de la misma manera una pieza de unión entre el vástago del cilindros de traslación con el cilindro 2 el cual toma las tapas a enlainer.

Además se debe realizar una pieza que posicione de forma exacta el vástago del cilindro 1 ya que todos los cilindros tienen 360° de libertad, y si este problema se presenta no se realiza la alimentación constante como es lo ideal.

2.2.1.3 Posicionamiento de tapas

El objetivo del mecanismo de posición es tomar las cuatro tapas que son trasladadas desde la pista de deslizamiento por el mecanismo correspondiente, fijarlas y separarlas una cierta distancia de tal forma que queden en el lugar exacto para la correcta inserción de liners, esta distancia debe ser igual a la del porta liner, de acuerdo como se muestra en la figura 28.

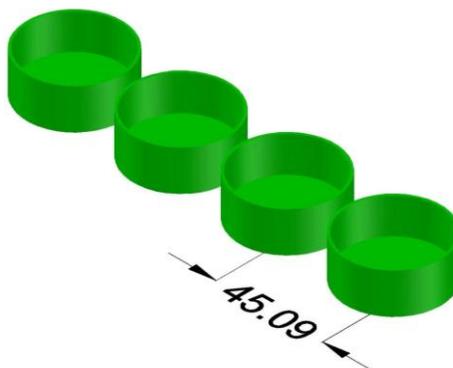


Figura 28: Separación de tapas

Las medidas de los elementos que toman las tapas de lado a lado son de características similares, el material de fabricación de esta pieza es lo más liviano posible para evitar mayor rozamiento con la mesa de trabajo, además para impedir mayores esfuerzos en los cilindros, estos actuadores no tienen características de robustez debido a que el espacio de trabajo y la función no lo amerita, el mecanismo en análisis es como se muestra en la figura 29.

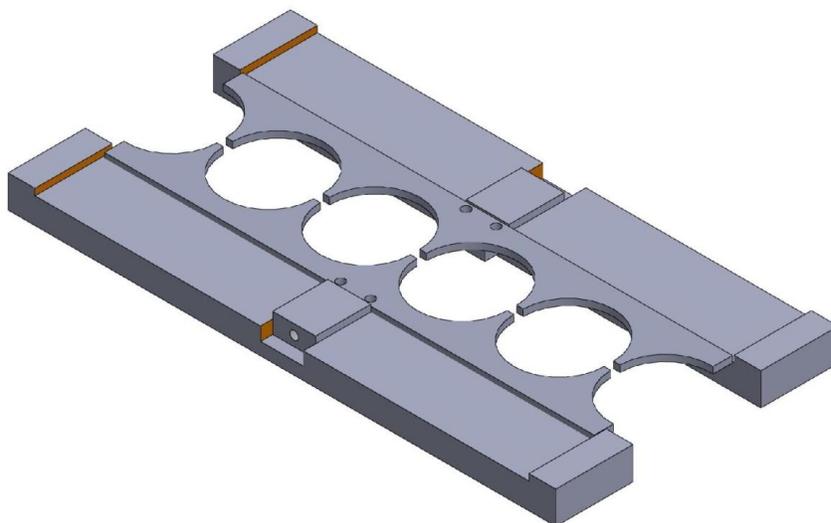


Figura 29: Posicionado de Tapas

Como se observa en la figura 29 es necesario un mecanismo sincronizado con la señal de presencia de tapas, el cual en dicho instante proceda un actuador el mismo que realiza el trabajo de estabilidad y equilibrio de las cuatro tapas, el movimiento de piezas de sujeción y posición se realiza con dos pistones de iguales características.

Tabla 11: Características del cilindro de posición

| DETALLE | CARÁCTERÍSTICA |
|-------------------------|----------------|
| Forma de funcionamiento | Doble efecto |
| Recorrido | 20-25[mm] |

2.2.1.4 Inserción de liners

Este mecanismo realiza dos movimientos al mismo tiempo, girar y trasladarse en sentido vertical, la primera para girar el eje en donde se encuentran las ventosas de acuerdo a la posición en el cual se encuentre, es decir arriba para tomar el liner y bajo para insertar en las tapas correspondientes.

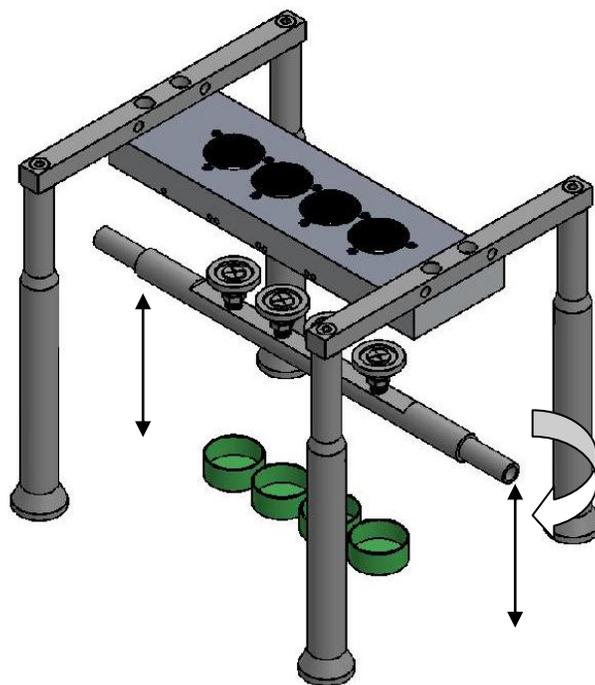


Figura 30: Forma de inserción de liners

La característica principal que tiene el actuador giratorio es que su grado de libertad es de 180° , y el giro es en los dos sentidos además el torque tiene que ser el adecuado para soportar la carga del eje y de cada una de las ventosas y porta ventosas.

Para realizar el movimiento vertical y la elección de los cilindros adecuados se toma en cuenta el grado de libertad del movimiento rotacional y con este la altura a la cual va estar ubicada el porta liner y las varillas de sujeción.

En este apartado se tiene la mayor estructura mecánica como: los soportes principales del sistema, porta liner, el mismo eje giratorio con todas las uniones y guías las mismas que hacen el movimiento lineal y rotatorio.

Para obtener un vacío constante y de alta precisión, al sistema se dota de una bomba de industrias Da Shin la misma que cuenta con las siguientes características:

- El motor es directo al sistema
- Es aplicado a flujos bajos
- Fácil de reparar y dar mantenimiento
- Funcionamiento silencioso



Figura 31: Bomba de vacío DS-1S (KSK Engineering & System, 2014)

La bomba tiene de dos partes principales, la primera es la parte de succión y la segunda la parte de enfriamiento o descarga cada una está acoplada de tal forma que el vacío no varíe.

Con el objetivo de obtener una succión (vacío) constante y no provocar calentamiento a la bomba debido a la conexión y desconexión temporizada de la entrada, se dota de dos válvulas básicas de 2 vías 2 posiciones conectadas en T a la entrada con un racor recto de acople rápido M8.

De la misma forma a la salida (descarga), está dotada de una válvula check la misma que cumple la función de no dejar retornar el aire de desfogue o del ambiente al sistema de vacío.



Figura 32: Accesorios del sistema de vacío (ECUAINSETEC, 2014)

2.2.1.5 Manejo del aire

a) Unidad de Mantenimiento

Todo sistema que usa aire comprimido sin importar la forma de funcionamiento es decir manual o automático es necesario colocar previo a la instalación de sus elementos una unidad de mantenimiento que a más de ayudar al buen desenvolvimiento del equipo extienda la vida útil de los equipos. Previo a la entrada del aire comprimido al subsistema neumático se coloca la unidad de mantenimiento de la marca FESTO con las características que se detallan en la tabla 12.

Tabla 12: Características de LFR-1/2-D-MIDI (ECUAINSETEC, 2014)

| CARACTERÍSTICAS | VALOR |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Tamaño | Mediano |
| Asegurar el accionamiento | Botón giratorio con enclavamiento |
| Grado de filtración | 40 [μm] |
| Evacuación del condensado | giro manual |
| Construcción | Filtro regulador con manómetro |
| Cantidad máxima de condensado | 43[cm^3] |
| Indicación de la presión | con manómetro |
| Margen de regulación de la presión | 0.5 - 12 [bar] |
| Caudal nominal normal | 3.400 [l/min] |

Para el trabajo eficaz de la unidad de mantenimiento es necesario revisar diariamente la cantidad de condensado acumulado en el contenedor, y si lo amerita purgar. La necesidad del dispositivo es debido al manejo de elementos neumáticos frágiles al aire contaminado.

A continuación en la figura 33 se muestra la unidad de mantenimiento el cual está instalado en el proyecto.



Figura 33: Unidad de mantenimiento LFR-1/2-D-MIDI (FESTO, 2004).

b) Manifold

El juego de válvulas se selecciona de acuerdo a la utilización y necesidad de los actuadores neumáticos como cilindros de doble efecto y el actuador giratorio de la marca FESTO.

Los elementos que conforman el manifold del proyecto son las siguientes:

- Válvulas básicas
- Electroválvulas
- Conectores
- Placa de alimentación
- Placa ciega

- Tapón ciego
- Silenciador G3/8 bronce ranura
- Racor orientable y orientable
- Pieza de fijación

Las válvulas básica utilizadas son de la serie CPE18-P1-5L-1/4 de la marca “FESTO”, monoestables de 5/2 vías de G1/4, con accionamiento electro neumático y reposicionamiento muelle neumático. Se toma en cuenta este tipo y serie de electroválvulas porque se necesita accionar cilindros de doble efecto.

En la figura 34 se muestra la válvula básica 5/2.



Figura 34: Válvula básica CPE18-P1-5L-1/4 (ECUAINSETEC, 2014)

La electroválvula seleccionada es de la serie VSCS-B-M32-MH-WA-1C1 de la marca "FESTO", monoestable, con muelle mecánico, tipo de activación eléctrico, se elige este elemento debido a que la excitación de la misma es con 24[V] en corriente continua, y este voltaje fácilmente se obtiene de la fuente de alimentación principal de tablero de control.



Figura 35: Electrovalvula VSCS-B-M32-MH-WA-1C1 (ECUAINSETEC, 2014)

Las conexiones que se realiza a la electrovalvula son con racores rectos modelo QS-1/4-6 con acople rápido de la marca FESTO, con una manguera de poliuretano PUN-6X1-BL por donde se conducirá el aire comprimido, cada uno de los elementos mencionados están fijas a la placa de alimentación CPE18-PRS-3/8-8 de la misma marca.

A continuación se muestra las imágenes de algunos de los accesorios FESTO usados en el manifold implementado en el proyecto.



Figura 36: Accesorios de conexión electro neumática (ECUAINSETEC, 2014)

2.2.2 SUBSISTEMA DE CONTROL

El sistema de control es el encargado de recibir la señal externa y procesarla en coordinación con el subsistema de respuesta que es el encargado de iniciar el ciclo del enlainado. El proceso inicia cuando el operador coloca las tapas en la tolva alimentadora e inmediatamente empieza

a transitar por los subsistemas mecánicos hasta la inserción de liner final, una vez terminado el primer ciclo, empieza el trabajo repetitivo automático dependiendo de la presencia de tapas.

2.2.2.1 Autómata Siemens S7-200

El PLC S7-200 tiene un diseño compacto, bajo costo y amplio juego de operaciones. La gran variedad de modelos S7-200 y el software de programación basado en Windows ofrecen la flexibilidad necesaria para solucionar las tareas de automatización. (SIEMENS, 2008).

A continuación en la tabla 13 se muestra las características fundamentales del PLC S7-200 implementado en el proyecto.

Tabla 13: Características del PLC S7-200 (SIEMENS, 2008)

| Características | CPU 224 |
|---|---------------------------------------|
| Dimensiones físicas [mm] | 120,5 × 80 × 62 |
| Memoria del programa: con edición en runtime sin edición en runtime | 8192 [bytes] 12288 [bytes] |
| Memoria de datos | 8192 [bytes] |
| Memoria de backup | 100 [horas] |
| E/S integradas Digitales Analógicas | 14 E/10 S |
| Reloj de tiempo real | Incorporado |
| Puertos de comunicación | 1 RS-485 |
| Alimentación AC | 120[V] |
| Alimentación DC | 24[V] |
| Tipo de conexión | Por relé (contacto libre de potencia) |
| Cable de programación | RS485/RS232 PPI |

2.2.2.2 Interruptores de proximidad

Estos sensores son los encargados de enviar la señal de entrada al sistema de monitoreo central que es el PLC S7-200, como la posición del émbolo en los cilindros verticales, detección del mal posicionamiento de las tapas para la inserción de liners, dependiendo de la señal y la programación se da el paso a la siguientes configuración del programa o en caso de fallas paran la máquina.

Existen cuatro principales tipos de sensores: Inductivo, capacitivo, Fotoeléctrico y Ultrasónico. Los sensores inductivos detectan la presencia de metales mediante un campo electromagnético, los sensores capacitivos usan un campo electrostático, los sensores ultrasónicos usan ondas ultrasónicas y los sensores fotoeléctricos reaccionan a los cambios en la cantidad de luz recibida. En el proyecto los sensores utilizados son los inductivos por el cual solo se hace énfasis el estudio de este.

a) Sensores Inductivos

Este tipo de sensores incorporan una bobina electromagnética que es usada para detectar la presencia de un objeto de metal conductor. Ignoran los objetos no metálicos. Son utilizados principalmente en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia de objetos metálicos en determinados contextos (Lonely113, 2012).

A continuación en la figura 37 se muestra la imagen del sensor inductivo, de la misma manera en la tabla 14 las características de este elemento.

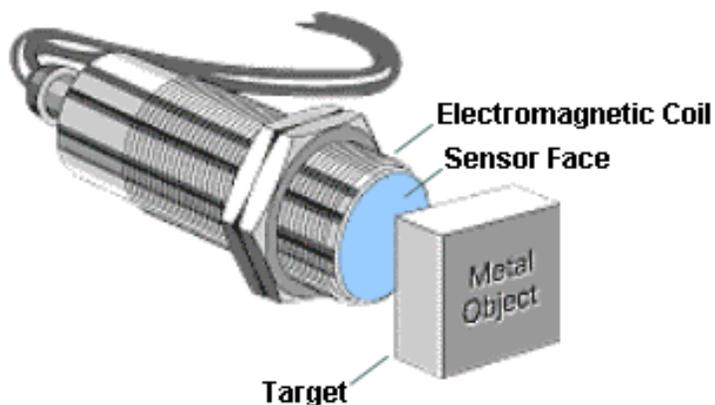


Figura 37: Inducción Electromagnética (Lonely113, 2012)

Tabla 14: *Características del sensor inductivo* (ECUAINSETEC, 2014)

| CARACTERÍSTICA | PROPIEDADES |
|---|-----------------------|
| Principio de medición | Magnético Reed |
| Salida | Bipolar, con contacto |
| Función del elemento de conmutación | Contacto de trabajo |
| Corriente máxima de salida | 500 [mA] |
| Corriente máx. de salida en los kits de fijación | 80 [mA] |
| Capacidad de conmutación AC máxima | 10 [VA] |
| Rendimiento DC máximo de conmutación | 10 [W] |
| Potencia de conmutación máxima DC en los kits de fijación | 2.4 [W] |
| Potencia de conmutación máxima AC en los kits de fijación | 2.4 [VA] |
| Caída de tensión | 1.5 [V] |
| Margen de tensión de funcionamiento AC | 5 ... 30[V] |
| Margen de tensión de funcionamiento DC | 5 ... 30 [V] |
| Conexión eléctrica | Cable trefilar |

CAPÍTULO III

3 DESARROLLO MECATRÓNICO DEL SISTEMA.

En este capítulo se detallan cálculos y medidas de las arquitectura mecánica, neumática y eléctrica, en si la estructura y desarrollo del software utilizado para llevar a cabo el funcionamiento del sistema de control de inserción de liner para tapas plásticas de 40mm de diámetro. En la figura 38 se muestra el diagrama de flujo del proceso.

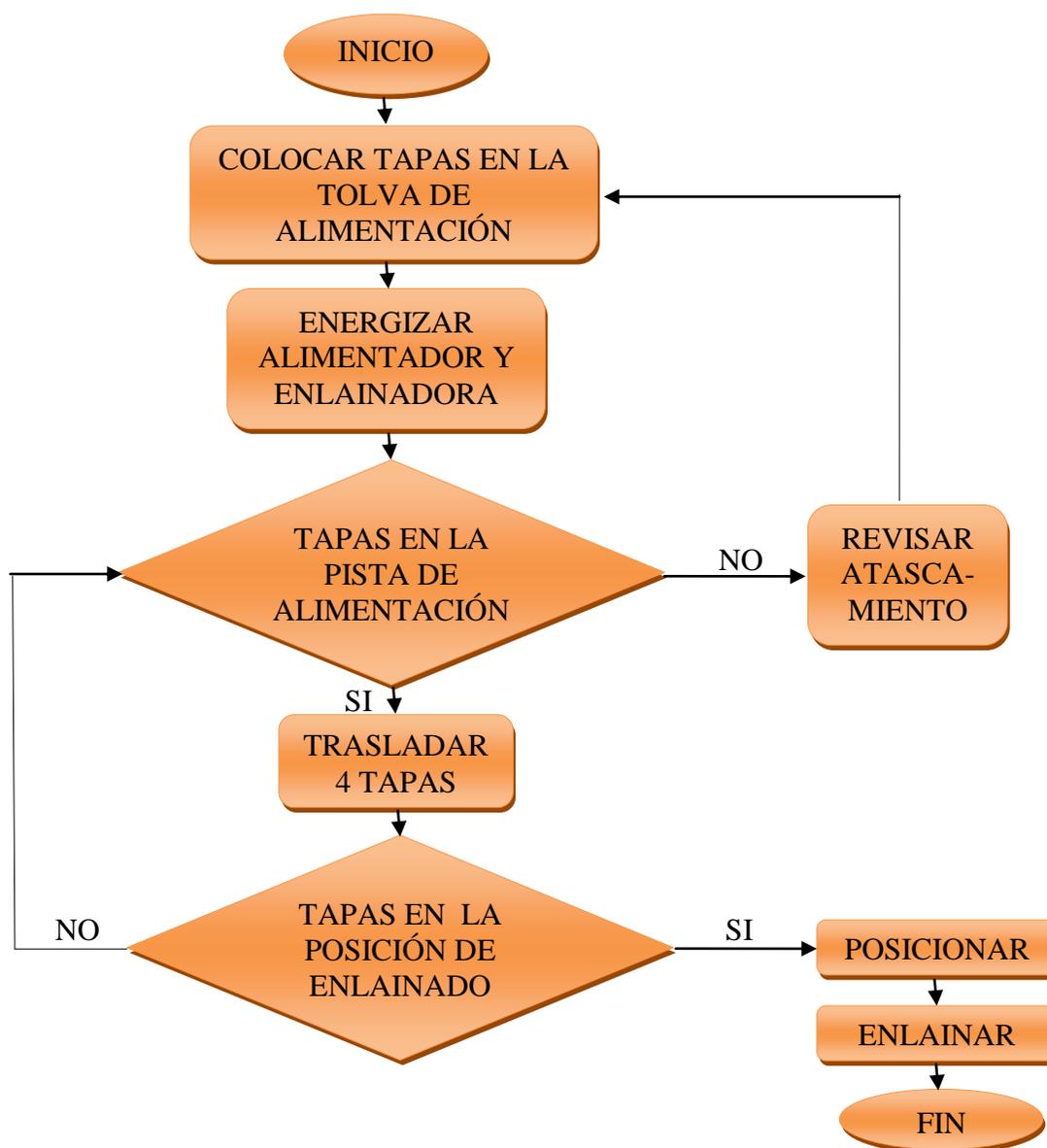


Figura 38: Diagrama de flujo del Sistema de enlainado

3.1 ARQUITECTURA MECÁNICA Y NEUMÁTICA

3.1.1 ALIMENTACIÓN DE TAPAS

La alimentación de tapas, corresponde a la parte inicial del proceso de enlaminado de tapas, en la que comprende partes fundamentales como la tolva, el disco rotatorio con su respectivo motor reductor y así mismo con su despensero de tapas hacia la zona de la alimentación directa.

La única carga que soportar la tolva es el peso de las tapas plásticas, para lo cual se realiza un cálculo tomando como referencia una tapa plástica, las variables se obtiene con un calibrador y una balanza electrónica, y en si la densidad de la misma que son facilitadas por la fábrica Induplast. A continuación se muestran las dimensiones de las tapas del proyecto.

- d : 40[mm] Diámetro de la tapa
- h : 17[mm] Altura de la tapa
- e : 1.25[mm] Espesor de la tapa
- m : 3[g] Masa de la tapa
- δ : 900[Kg/m³] Densidad de la tapa

Para el cálculo del volumen de la tapa se usa la fórmula de un rectángulo, debido a que es para especificar la cantidad de tapas admisibles en la tolva de alimentación. La respectiva fórmula se muestra a continuación.

$$V = a \times b \times h$$

Ecuación 1: Volumen de una de tapa

Dónde:

- V : Volumen del cuerpo [mm³]
- a : base [mm]
- b : ancho [mm]
- h : altura [mm]

Entonces reemplazando los datos medidos en la ecuación 1 se tiene:

$$V = 40 \times 40 \times 17$$

$$V = 27200[mm^3]$$

Para estar al corriente de la capacidad de la tolva de alimentación de tapas se procede a multiplicar el factor mínimo de inserción de liners establecido como objetivo del proyecto. El valor se muestra en la ecuación 500.

$$c = 5000\left[\frac{tapas}{hora}\right]$$

Ecuación 2: Cantidad de tapas a enlainer

Se procede a realizar la transformación de unidades al SI (sistema internacional de unidades), para lo cual se hace referencia a la ecuación 2, por lo cual la velocidad mínima de alimentación es $1.4\left[\frac{tapas}{seg}\right]$, el mismo que nos indica que por cada dos segundos transcurridos la alimentadora debe proporcionar tres tapas.

La alimentación de tapas a la tolva es acorde a la velocidad de trabajo, para el cálculo se toma la capacidad de apilamiento de 300 tapas, este valor es el más recomendable debido a que la tolva se encuentra a una determinada altura, ocasionando dificultad en levantar si el peso aumenta, además si se coloca tapas en exceso la tolva giratoria tiende a trabarse. Con el dato descrito se procede a calcular la masa total y la fuerza que estas ejercen sobre el mecanismo.

$$M_T = m \times 300$$

Ecuación 3: Masa total de apilamiento de tapas

Dónde:

- m : Masa de la tapa [g]

Se procede a resolver la ecuación 3 reemplazando la variable por el dato medido la misma que se muestra a continuación.

$$M_T = 3 \times 300$$

$$M_T = 900[g]$$

$$M_T = 0.9[Kg]$$

Con la masa total de tapas se procede al cálculo del peso promedio (fuerza), que ejercen sobre la tolva de alimentación, la misma que se hace referencia a las ecuaciones 4 y 5, mostradas a continuación.

$$g = 9.81\left[\frac{m}{s^2}\right]$$

Ecuación 4: Fuerza gravitacional promedio

$$P = m \times g$$

Ecuación 5: Peso del cuerpo

Dónde:

- P : Peso del cuerpo [N]
- m : Masa del cuerpo [Kg]

Para obtener el peso total (P_T) se reemplaza el valor de la M_T en la ecuación 5, que reemplazando expresa lo siguiente.

$$P_T = 0.9 \times 9.81$$

$$P_T = 8.829[N]$$

El volumen total de tapas a colocar en la tolva es el volumen de una sola tapa multiplicada por la constante de análisis que es 300:

$$V_T = 27200 \times 300$$

$$V_T = 8160000[mm^3]$$

Cabe recalcar que todos los datos calculados son aproximaciones, por lo cual en la implementación se considera un diez por ciento más de lo mostrado. Con lo especificado anteriormente y con los requerimientos previstos en el capítulo anterior se dota de la alimentadora centrífuga la cual tiene la siguientes características.

El moto reductor.

- Marca: Sheng Jin Motor
- Voltaje de alimentación: 220[V]
- Frecuencia: 50/60[Hz]
- Corriente: 1[A]
- Velocidad: 1500[rpm]

En la figura 39 se muestra la tolva de la alimentación de tapas.

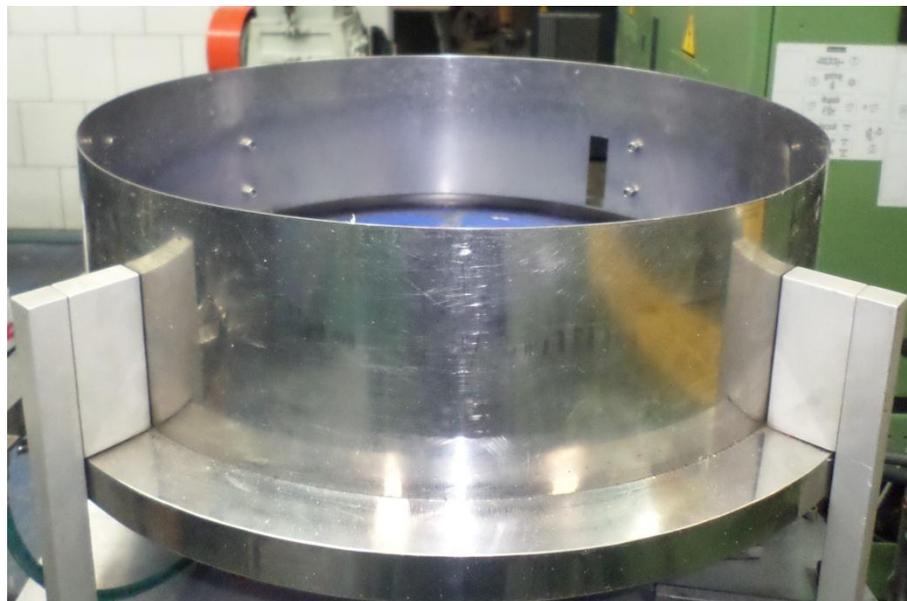


Figura 39: Tolva de alimentación de tapas

Las dimensiones de la figura 39 se muestran a continuación.

- $h = 160[mm]$ Altura de la tolva
- $R = 250[mm]$ Radio de la base inferior
- $r = 240[mm]$ Radio de la base superior

Con la ayuda de la fórmula de volumen de un tronco de cono (Ecuación 6), se obtiene la capacidad de tapas que se puede abastecer a la tolva para comprobar si las 5000 tapas, puede estar sin problemas enlainadas en una hora.

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times h(R^2 + r^2 + R \times r)$$

Ecuación 6: Volumen de un tronco de cono

Dónde:

- V : Volumen del tronco de un cono [mm^3]
- h : Altura del cono truncado [mm]
- R : Radio de la base inferior [mm]
- r : Radio de la superior [mm]

Remplazando los datos de tolva en la ecuación 6 se tiene:

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times 160(250^2 + 240^2 + 250 \times 240)$$

$$V = \frac{1}{3} \times \pi \times 160(180100)$$

$$V = 30176044.635[mm^3]$$

Tomando en cuenta que el volumen de una sola tapa, es de $272000[mm^3]$ y la tolva de alimentación tiene un volumen de $30176044.635[mm^3]$, se puede concluir la cantidad de tapas "x" que se pueden suministrar por carga es de:

$$x = \frac{30176044.635}{272000} \approx 1109[tapas]$$

La tolva está en la capacidad de proporcionar 1000 tapas aproximadamente por carga en su estado ideal (completamente lleno), con esto se concluye que la tolva si proporciona la cantidad aceptable para cumplir el objetivo de enlainado, este es un tema a ampliar en la fábrica en el trabajo diario según las experiencias adquiridas.

3.1.2 MECANISMO DE TRASLACIÓN Y POSICIONAMIENTO

Para trasladar las tapas del inicio de la pista vertical hacia el lugar del enlainado, en donde son posicionadas, se realiza con cuatro cilindros neumáticos de doble efecto, los dos primeros realizan el trabajo de trasladar y los otros dos posicionan en un lugar exacto de tal forma que se realice una inserción de liner perfecto.

3.1.2.1 Unidad de traslación

La unidad de traslación trabaja con dos cilindros neumáticos de doble efecto, el primero móvil (se denota pequeño), este toma las tapas mientras que el segundo se encuentra fijo (se denota grande) las traslada de la posición inicial a la final, este mecanismo se instala al inicio de la pista vertical.

a. Dimensionamiento y selección de cilindros

En la determinación y aplicación de un comando, por regla general, se conoce inicialmente la fuerza del torque de acción final requerida, que debe ser aplicada en un punto determinado para obtenerse el efecto deseado. Es necesario, por tanto, disponer de un dispositivo que convierta en trabajo la energía contenida en el aire comprimido. Los convertidores de energía son los dispositivos utilizados para tal fin.

En un circuito cualquiera, el convertidor está unido mecánicamente a la carga. De esta manera, al ser influenciado por el aire comprimido, su energía es convertida en fuerza o torque, que es transferido hacia la carga. (Parker Hannifin, 2003).

La fuerza del cilindro es una función del diámetro del cilindro, de la presión del aire y del roce del émbolo, que depende de la velocidad del émbolo y que se toma en el momento de arranque.

Las variables que intervienen en el análisis de los parámetros son las que se muestran en la figura 40.

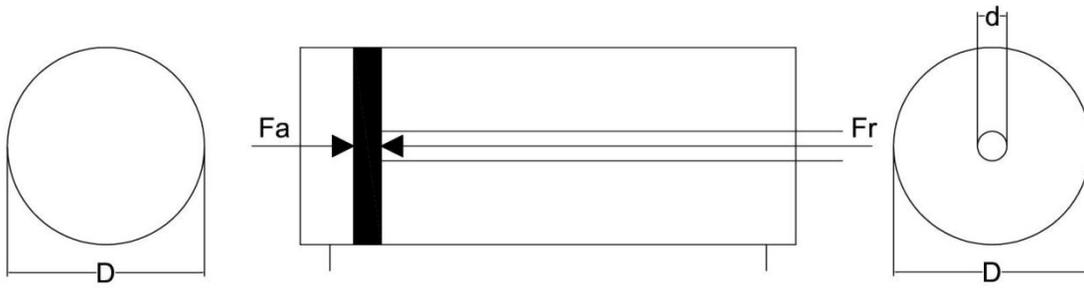


Figura 40: Variables de los cilindros de doble efecto

Dónde:

- F_a : Fuerza de avance [N].
- F_r : Fuerza de retroceso [N].
- D : Diámetro del cilindro [m].
- d : Diámetro del vástago [m].

Las ecuaciones mostradas a continuación son aplicables a los cilindros de doble efecto, no se incluye las que aplican para los cilindros de simple efecto debido a que no se emplean en el proyecto.

$$S_a = \pi \times r^2 = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

Ecuación 7: Sección en avance

Dónde:

- S_a : Sección de avance [m^2]
- r : Radio del cilindro [m]

La sección de retroceso se obtiene de la siguiente forma.

$$S_r = S_{cilindro} - S_{vástago}$$

$$S_r = \frac{\pi \times D^2}{4} - \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$S_r = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4}$$

Ecuación 8: Sección en retroceso

Dónde:

- S_r : Sección de retroceso [m^2]
- π : 3.1416
- D : Diámetro del cilindro [m]
- d : Diámetro del vástago [m]

Todo fluido (líquido o gas) sometido a una presión, ejerce esta presión sobre las moléculas adyacentes a él, bien sean del mismo, de otro fluido, o de un cuerpo sólido, en este último caso la presión se transforma en una fuerza, cuyo valor viene dado por la formula

$$F = S \times P$$

Ecuación 9: Fuerza aplicada

Dónde:

- F : Fuerza aplicada [N]
- S : Área [m^2]
- P : Presión de trabajo [Pa]

En el caso de los cilindros neumáticos las superficies que interesan son la anterior y la posterior del émbolo que corresponden a las fuerzas de avance y retroceso respectivamente.

En cada uno de los cálculos posteriores a la obtención de la presión final de trabajo se toma, el dato de la presión promedio de funcionamiento de los cilindros y actuadores neumáticos, la misma que es de 6[bar] equivalente a 600000[pa].

$$F_a = \frac{\pi \times D^2}{4} \times P$$

Ecuación 10: Fuerza en avance

$$F_r = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times P$$

Ecuación 11: Fuerza en retroceso

Dónde:

- P = Presión de trabajo [Pa]

Las ecuaciones mostradas aplican a cada uno de los cálculos que vienen en este apartado y en los siguientes, en algunos de los casos no aplica ninguno debido a que no tienen carga alguna de aplicación, como es el caso del cilindro más pequeño del sistema que toma las cuatro tapas que previamente serán trasladadas.

Para la elección del cilindro pequeño que toma las tapas se toma en cuenta simplemente aspectos como el peso y la carrera, con respecto a este último como mínimo debe llegar a la mitad de la tapa a trasladar, siendo esta la altura de 8.5 [mm], y por su puesto debe ser de doble efecto debido a que debe retornar con otra señal. En la figura 41 se muestra la imagen del cilindro, y de la misma manera en la tabla 15 las características del elemento.



Figura 41: Cilindro DSNU-10-10-P-A. (FESTO, 2004)

Tabla 15: Características del Cilindro DSNU-10-10-P-A (FESTO, 2004)

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Carrera | 10[mm] |
| Diámetro del émbolo | 10 [mm] |
| Rosca del vástago | M4 |
| Amortiguación | Regulable en ambos lados (PPV) |
| Extremo del vástago | Rosca exterior |
| Presión de funcionamiento | 1 - 10 [bar] |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Fluido | Aire seco, lubricado o sin lubricado |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso | 39,6 [N] |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 47,1 [N] |

Después de haber determinado las características del cilindro toma tapas se procede al análisis del cilindro de traslación, el cual tiene dos aspectos fundamentales para su selección las mismas que son la carrera a recorrer y la carga a trasladar tomando en cuenta que es mínimo. La carrera que tiene el cilindro debe tener la sumatoria de los diámetros a trasladar siendo, como lo mencionado anteriormente 40[mm] la una tapa y por las cuatro a trasladar se tiene el valor de 160[mm]. Las cargas que intervienen en la selección del cilindro de traslación se muestran en la tabla 16.

Tabla 16: Carga del cilindro de traslación

| Descripción | Masa[Kg] |
|------------------|-----------|
| Cilindro pequeño | 0,04 |
| Varilla guía | 0,03 |
| Elemento unión | 0,02 |
| Tuercas | 0,02 |
| Cuatro tapas | 0,012 |
| Rozamiento | 0,878 |
| Suma | ±1 |

Reemplazando en las ecuaciones 4 y 5, por el dato de la tabla 16 se obtiene el peso a ser movido por el cilindro, cabe recalcar que se desprecia el rozamiento debido a que el camino por el cual avanza la tapa es liso.

$$P = 1 \times 9.81$$

$$P = 9.81[N]$$

La carga a mover es mínima, entonces el cilindro se procede a elegir de acuerdo a la carrera que debe tener para cumplir con el objetivo planteado, para lo cual se eligió el cilindro de doble efecto de la marca Metal Work, con número de serie 1130250160CN, la cual tiene las características mostradas a continuación.

Tabla 17: Características del cilindro 1130250160CN (Metal Work, 2014)

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Carrera | 160[mm] |
| Diámetro del émbolo | 24 [mm] |
| Rosca del vástago | [M8] |
| Amortiguación | Regulable en ambos lados (PPV) |
| Extremo del vástago | Rosca exterior |
| Presión de funcionamiento | 1 - 10 [bar] |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Fluido | Aire seco, lubricado o sin lubricado |

Con las características especificadas y según las ecuaciones 7 y 10 se procede a calcular la fuerza en avance del cilindro de traslación, no se calcula la fuerza de retroceso debido a que no tiene carga alguna por mover.

$$S_a = \frac{(\pi) \times (0.024)^2}{4}$$

$$S_a = 4.523 \times 10^{-4} [m^2]$$

La presión se toma del rango de trabajo promedio del cilindro, que es $600000[Pa]$, con este dato se procede al cálculo de la fuerza promedio que realiza el cilindro.

$$F_a = (4.523 \times 10^{-4}) \times (600000)$$

$$F_a = 271.38[N]$$

Al comparar el peso de la carga a mover con la fuerza que tiene el cilindro la diferencia es alta por el cual es necesario colocar válvulas de estrangulación para el control de la salida del vástago, este elemento tiene también como función trasladar las tapas de forma uniforme sin velocidades excesivas, ya que este último ocasiona fallas en el sistema de inserción de liners.

En la figura 42 se muestra el cilindro en análisis.



Figura 42: Cilindro 1130250160CN (Metal Work, 2014) .

b. Elementos de sujeción mecánico

Existen piezas mecánicas en el proyecto las mismas que fijan y sirven de guía al sistema de transportación de tapas, los cilindros de forma independiente no pueden hacer el trabajo previsto, razón por la cual vienen a ser esenciales los elementos que se muestran a continuación.

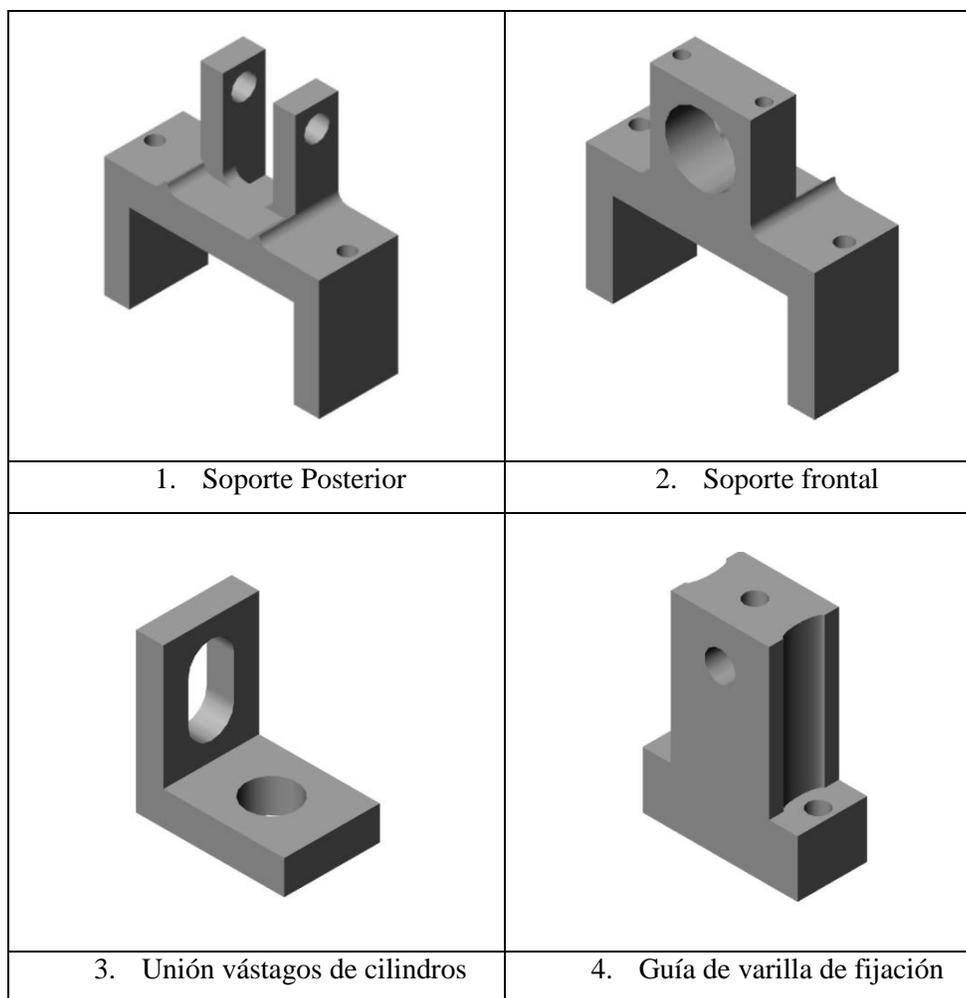


Figura 43: Piezas de unión y sujeción del mecanismo transportador

A demás de los elementos mostradas en la figura 43, el sistema está dotada por tornillos, pernos y arandelas las mismas que fijan la posición de los elementos.

c. Funcionamiento

Las posiciones de los cilindros para la alimentación de tapas son dos, las mismas que se describen a continuación.

Al energizarse el sistema, con las tapas colocadas en la tolva de alimentación y en la pista de horizontal, en este instante los cilindros se encuentran como se muestra en las figuras 44.

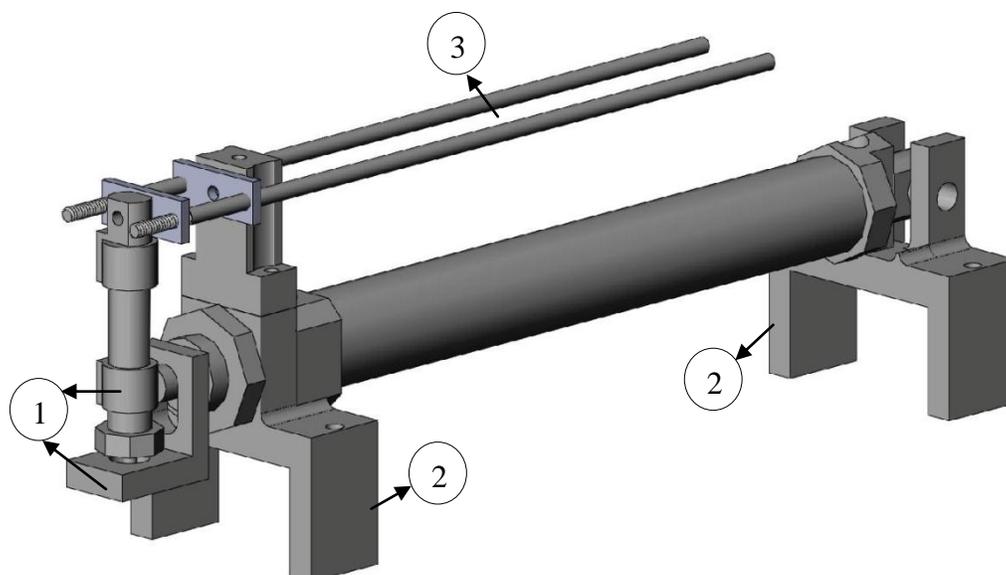


Figura 44: Posición inicial de traslación

Dónde:

1. Cilindros desactivados (-)
2. Piezas de sujeción
3. Guías de equilibrio

Al instante de trasladar las primeras cuatro tapas y este al llegar a la posición final los cilindros deben estar como se muestra en la figura 45.

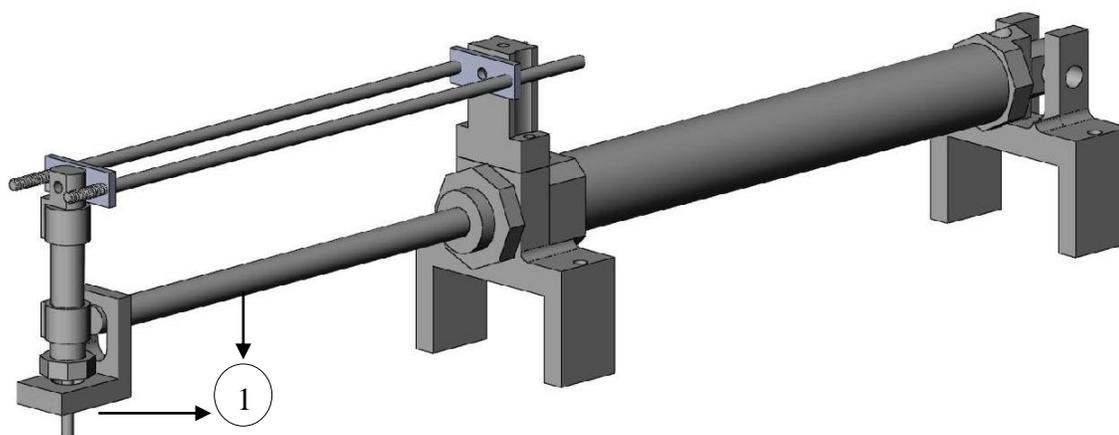


Figura 45: Posición final del mecanismo de traslación

Dónde:

1. Cilindros activados (+)

El proceso de traslación de las tapas es en forma cíclica de acuerdo como se especifica y se observa en las figuras 44 y 45, el buen funcionamiento del subsistema depende del avance constante de las tapas por la pista vertical, antes de vaciarse la tolva el operador de turno debe dotar a la tolva acomodadora la cantidad específica necesaria el cual asegura no tener paros no programados.

3.1.2.2 Unidad de posicionamiento

El subsistema de posición de tapas trabaja con dos cilindros de doble efecto con características similares, los mismos que en su estado inicial se encuentran desactivados (vástago retraído), y al momento de tener presencia de elementos a enlainer en la pista vertical los cilindros cambian de estado (vástago extendido).

a. Dimensionamiento y selección de cilindros

La carga a mover al igual que el mecanismo anterior es mínima, ya que el único elemento a ser movido es la pieza de agarre y posición la misma que se muestra en la figura 46.

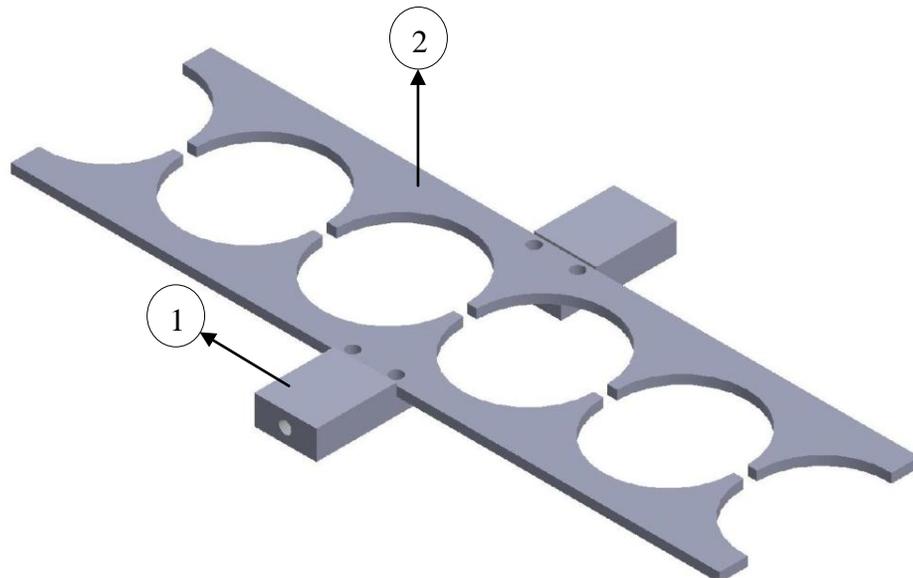


Figura 46: Pieza agarre de tapas

Dónde:

1. Acople para el vástago del cilindro
2. Pieza de sujeción y posicionamiento

La fuerza de rozamiento a vencer para realizar su respectivo agarre y posicionamiento de tapas es mínima, por el mismo hecho que la pieza esta maquinada en acero inoxidable de dimensiones $28 \times 30 \times 3$ [mm], la masa y el peso del elemento es despreciable para cualquier cilindro de doble efecto sin importar el tamaño.

Con las especificaciones anteriores para la elección de los cilindros únicamente se toma en cuenta el recorrido que debe hacer para posicionar las tapas, la misma que debe ser igual o superior a la media del ancho de la pista vertical en cual están localizadas las tapas, en si la carrera de los cilindros viene dado por el radio de la tapa, ya que si es menor al desactivarse la pista vertical queda obstruida por el mecanismo de sujeción sin permitir que las tapas posteriores avancen.

Con la aclaración anterior se elige el cilindro de la marca FESTO, de la serie DSNU-10-25-P-A con las características mostradas en la tabla 18.

Tabla 18: Características del Cilindro DSNU-10-25-P-A (FESTO, 2004)

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Carrera | 25 [mm] |
| Diámetro del émbolo | 10 [mm] |
| Rosca del vástago | [M4] |
| Extremo del vástago | Rosca exterior |
| Presión de funcionamiento | 1 - 10 [bar] |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Fluido | Aire seco, lubricado o sin lubricado |
| Fuerza teórica con 6 bar, retroceso | 39,6 [N] |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 47,1 [N] |

El agarre y posicionamiento de las tapas se realiza con elementos de similares características, esto es la razón por el cual no se menciona como si fuesen dos elementos. Los cilindros neumáticos seleccionados se muestran en la figura 47.



Figura 47: Cilindro DSNU-10-25-P-A (FESTO, 2004)

b. Elementos de sujeción mecánico

Este mecanismo está conformado por dos segmentos principales, el primero es la parte fija en el cual se mueve la pieza de agarre de tapas, el material de fabricación es duralón el mismo que es liso, con el fin de evitar rozamiento excesivo con el elemento móvil, el segundo realiza la función de no permitir que las tapas se levanten debido a la inserción de liner por las ventosas, el material de fabricación es el acero inoxidable debido a que no está expuesto a la dilatación. Los elementos que intervienen se muestran en la figura 48.

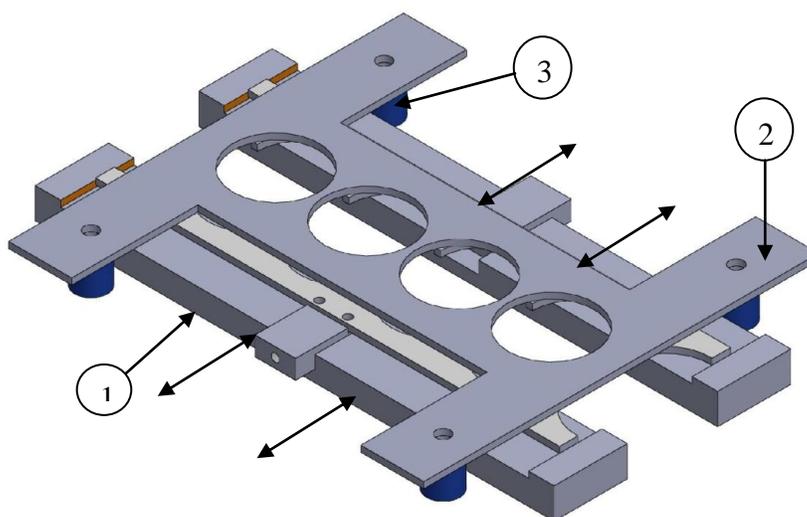


Figura 48: Elementos de posición

Dónde:

1. Pieza fija de deslizamiento
2. Elemento anti levantamiento de tapas
3. Elemento de separación entre el elemento 1 y 2

Cabe recalcar que en la imagen no se muestran los elementos como tornillos, tuercas y arandelas los mismos que permiten la unión, sujeción y el anclaje de los elementos o piezas sobre la mesa de trabajo, para más detalle revisar el anexo D (planos mecánicos) adjunto al final del documento.

c. Funcionamiento

En primera instancia al momento de no haber presencia de tapas en el sistema, el elemento de posición se encuentra como se muestra en la figura 49, los cilindros con los vástagos retraídos o desactivados.

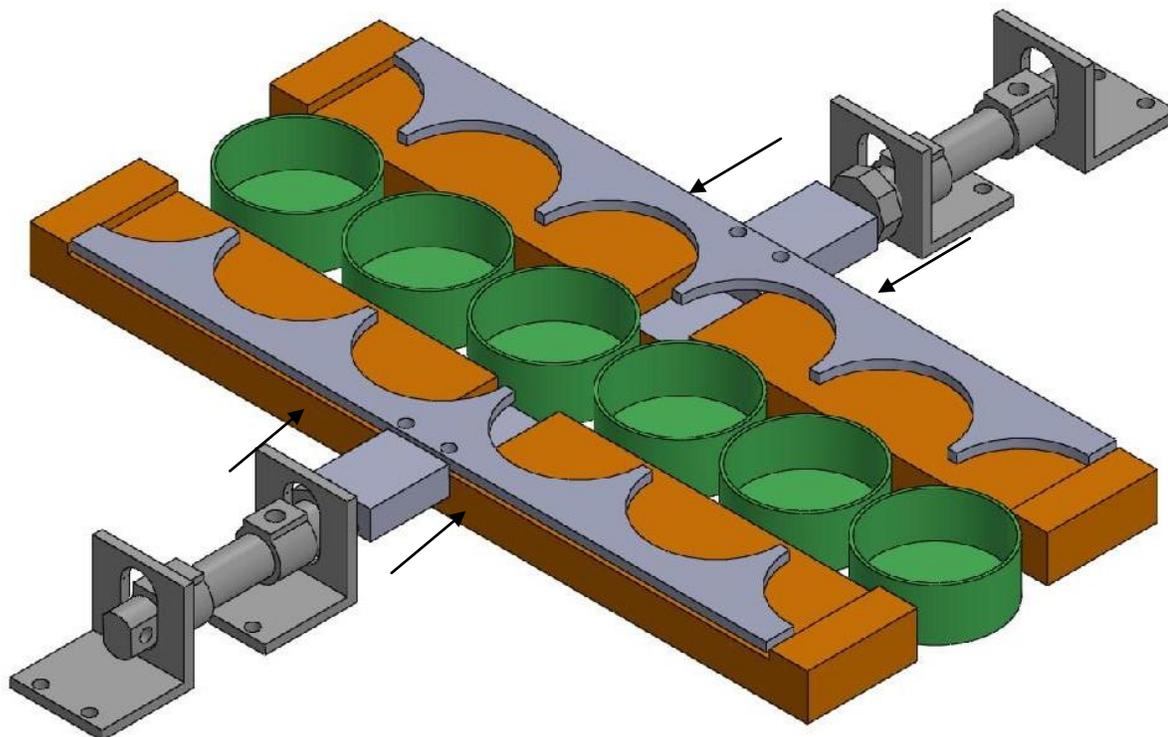


Figura 49: Situación inicial de posicionado de tapas

Los elementos fijos están anclados a la mesa de trabajo por medio de tornillos de cabeza perdida, con el fin de que no interfiera o cause obstáculo en los movimientos repetitivos de los actuadores neumáticos.

En la segunda posición o después de tener presencia de tapas en la pista vertical, se activan los cilindros quedando como se muestra en la figura 50, el movimiento permite que el elemento deslizante fije y separe a las tapas de forma adecuada.

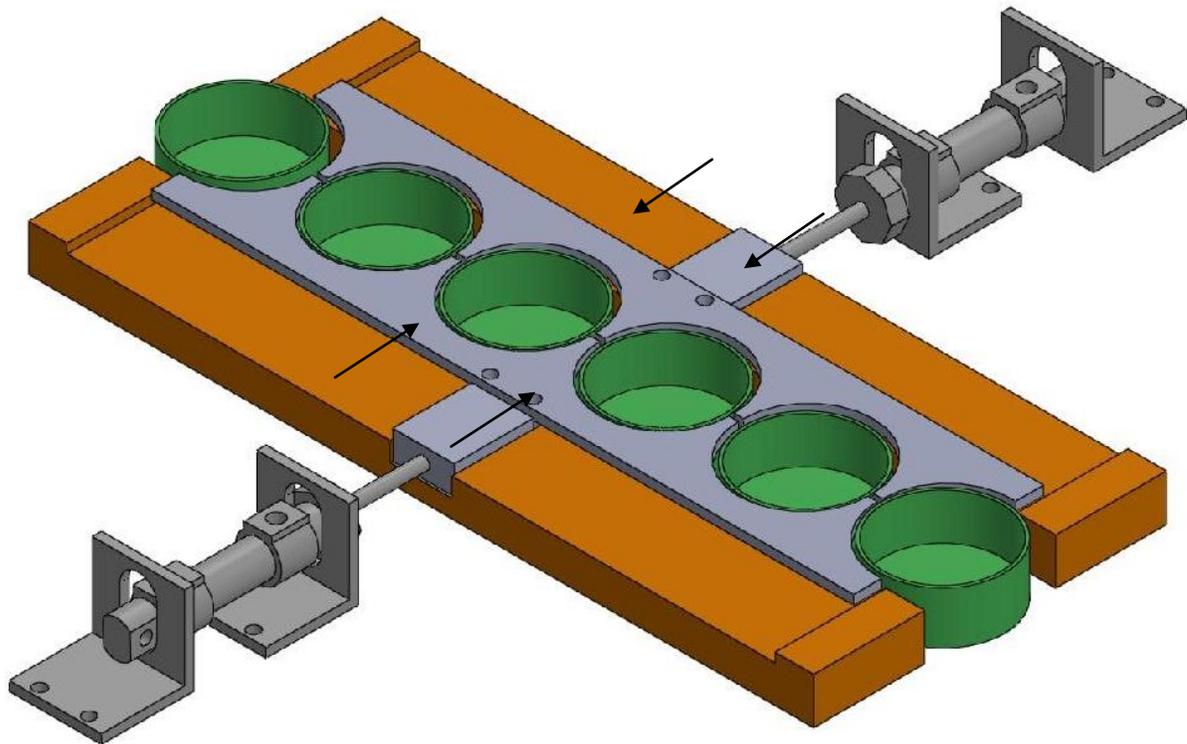


Figura 50: Situación final del posicionado de tapas

3.1.3 MECANISMO DE INSERCIÓN DE LINER

Este mecanismo sin menospreciar la importancia de las anteriores viene a ser el más significativo, debido a que este realiza el trabajo final o el objetivo propuesto en este proyecto. La función del mecanismo es tomar los liners de una determinada altura y colocar en las cuatro tapas que fueron posicionadas previamente, la construcción y ensamblaje del mecanismo se realiza de acuerdo a las dimensiones del liner y las tapas.

Los liners están colocados a una determinada altura de la mesa de trabajo, apiladas de forma correcta de tal manera que un elemento giratorio tome los cuatro liners y las coloque en las tapas que fueron posicionadas previamente.

3.1.3.1 Arquitectura del porta liner

El porta liner, es la pieza en el cual se va ubicar los liners, las mismas que se apilan de forma vertical por parte del operador, cabe recalcar que son cuatro, cada uno de los espacios de apilamiento deberá estar correctamente separado, de acuerdo a la separación del agarre del posicionado de tapas.

Para evitar que los liner se caigan por gravedad, el mecanismo está dotado de pequeños tornillos con cabeza perdida, colocada de forma que no dañe la textura del liner, ya que este material es bastante frágil, el correcto apilamiento de este elemento se realiza con varillas de sujeción, las mismas que están colocadas tres por alojamiento y sobre cada columna se coloca una pieza que tenga el peso necesario para el avance sincronizado de los elementos.

Las medidas para la bastimento fueron tomadas de acuerdo a la geometría de las tapas y el liner implementados en el proyecto.

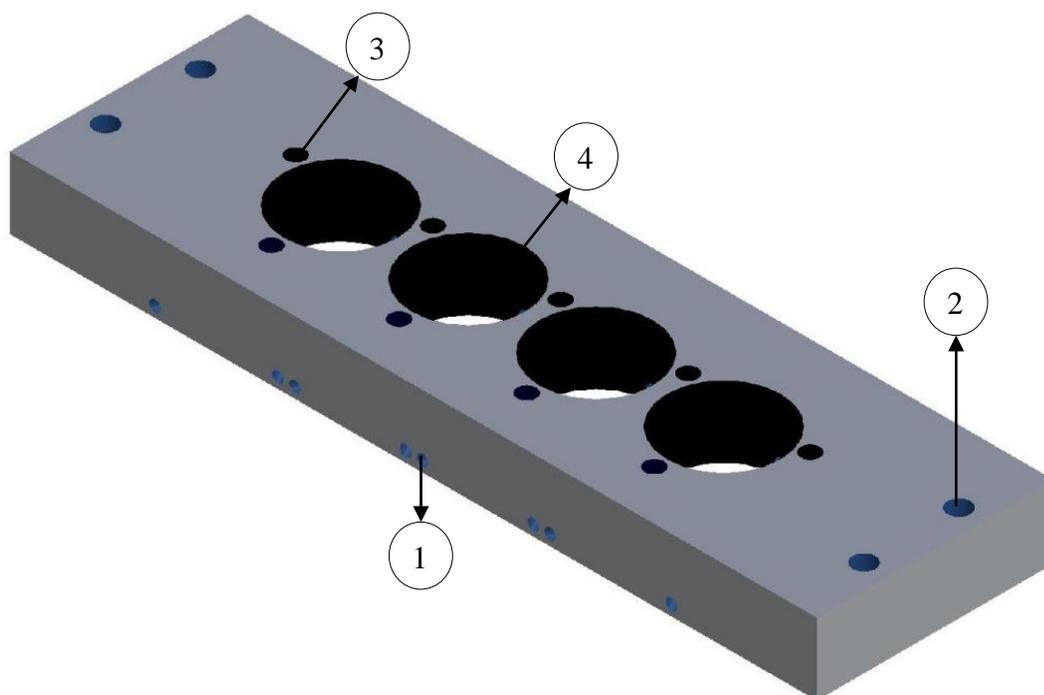


Figura 51: Soporte liner

Dónde:

1. Alojamiento de tornillos tipo Allen con cabeza perdida.
2. Pasantes de anclaje.
3. Alojamiento de las varillas de sujeción de liner.
4. Alojamiento para liner.

3.1.3.2 Diseño del eje giratorio

En el eje se encuentran la porta ventosas, las mismas que giran 180°, este dato es el factor primordial de la unidad en análisis, debido a que el enlanado preside de la precisión de giro tanto al tomar y en soltar el liner en cada una de las tapas que fueron previamente ubicadas y posicionadas.

a. Dimensionamiento

En el eje se encuentran las cuatro ventosas, estos elementos son añadidos como pesos adicionales para el diseño y la selección de materiales la misma que se muestra en la figura 52.

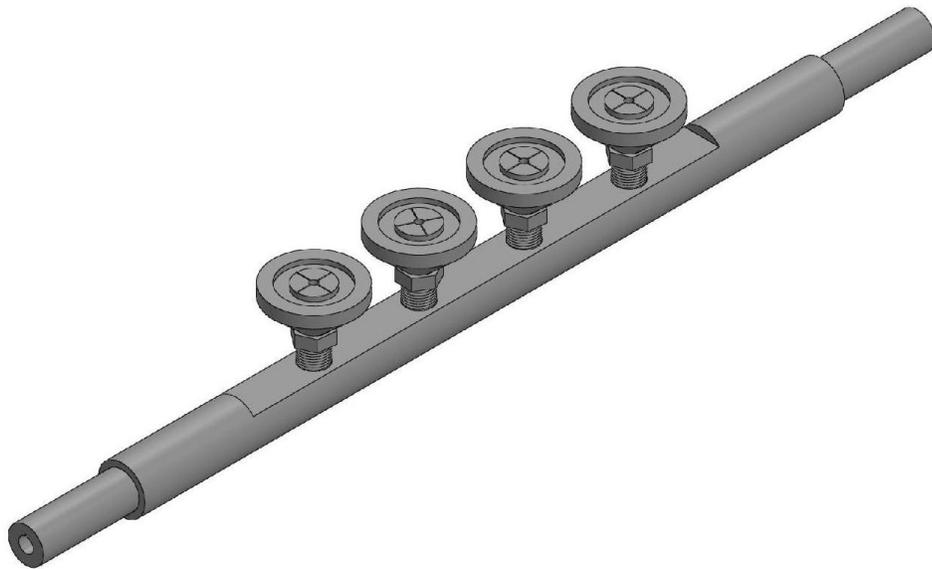


Figura 52: Eje giratorio y las porta ventosas

El funcionamiento de la unidad de inserción de liners depende de este elemento, el dimensionamiento está ligado directamente a la separación de las ventosas y a la medida del

porta liner, esto es esencial para iniciar el cálculo de fuerzas y momentos los cuales interfieren en el movimiento de rotación y traslación del eje.

El volumen del eje está dado por la siguiente fórmula:

$$V = \frac{\pi \times d^2}{4} \times L$$

Ecuación 12: Volumen del eje

Dónde:

- V : Volumen del eje [mm^3]
- d : Diámetro [mm]
- L : Longitud del eje [mm]

Las características y las dimensiones del eje se muestran en la siguiente 53.

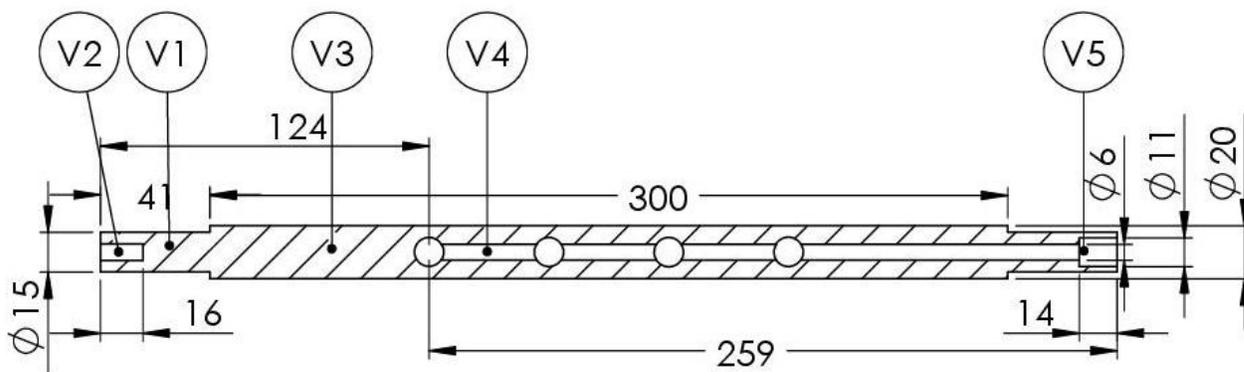


Figura 53: Dimensiones del eje

Cabe recalcar que las dimensiones que se muestran en la figura 53 se encuentran en milímetros por el cual en cada uno de los cálculos se realiza la respectiva transformación al sistema internacional de unidades (SI). La dimensión del alojamiento de las porta ventosas

son despreciables debido a que las medidas son pequeña (M4), por el cual en la repuesta final se suma un +5% de error.

$$V_1 = \left(\frac{\pi \times (15)^2}{4} \times 41 \right) \times 2$$

$$V_1 = 14490.596 [mm^3]$$

$$V_2 = \frac{\pi \times (6)^2}{4} \times 16$$

$$V_2 = 452.389 [mm^3]$$

$$V_3 = \frac{\pi \times (20)^2}{4} \times 300$$

$$V_3 = 94247.779 [mm^3]$$

$$V_4 = \frac{\pi \times (6)^2}{4} \times (259 - 14)$$

$$V_4 = 6927.211 [mm^3]$$

$$V_5 = \frac{\pi \times (11)^2}{4} \times 14$$

$$V_5 = 1330.464 [mm^3]$$

El volumen total del eje está definido por:

$$V_{total} = V_1 - V_2 + V_3 - V_4 - V_5$$

$$V_{total} = 14490.596 - 452.389 + 94247.779 - 6927.211 - 1330.464$$

$$V_{total} = 100028.311 [mm^3]$$

$$V_{total} = 0.0001 [m^3]$$

Como siguiente se calcula la masa, para lo cual se necesita la densidad del hierro de transmisión la misma que se encuentra en el **anexo G**.

$$m = Vx\delta$$

Ecuación 13: Masa del eje

Dónde:

- m : Masa del eje [Kg]
- V : Volumen del eje [m^3]
- δ : Densidad del eje [Kg/m^3]

Se transforma la densidad al sistema internacional de unidades (SI).

$$\delta = 7.9 \times \frac{1000000}{1000}$$

$$\delta = 7900[Kg/m^3]$$

Entonces:

$$m = 0.0001 \times 7900$$

$$m = 0.790[Kg]$$

Para calcular el peso total del elemento en análisis se hace referencia a la ecuación 5 el mismo que expresa lo siguiente:

$$W = 0.790 \times 9.81$$

$$W = 7.752[N]$$

Para realizar el cálculo de los momentos de inercia del eje se toma como referencia a las fórmulas de un cilindro debido a que el eje toma la forma de la misma, estas ecuaciones se muestran a continuación.

$$I_x = \frac{1}{2}mr^2$$

Ecuación 14: Momento de Inercia en el eje de las x

Dónde:

- I_x : Momento de inercia [$Kg.m^2$]
- m : Masa [Kg]
- r : Radio [m]

Al remplazar los datos del eje en la ecuación 14 se tiene:

$$I_x = \frac{1}{2} \times 0.79 \times 0.01$$

$$I_x = 0.00395[Kg.m^2]$$

El radio para realizar el cálculo del momento de inercia en la abscisa se toma la medida del diámetro en el cual se ubican las porta ventosas. Al analizar los momentos de inercia en los ejes y y z se tiene:

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} m(3r^2 + L)$$

Ecuación 15: Momentos de inercia en los ejes y y z

Dónde:

- I_z : Momento de inercia [$Kg.m^2$]
- m : Masa [Kg]
- r : Radio [m]
- L : Longitud total del eje [m]

$$I_y = \frac{1}{12} \times 0.79(3 \times 0.01^2 + 0.382)$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times 0.79(0.3823)$$

$$I_y = 0.0252[Kg.m^2]$$

Los actuadores lineales deben ser capaces de vencer los momentos calculados.

b. Diagrama de cuerpo libre

El diagrama de cuerpo libre, es una herramienta esencial en la mecánica de materiales, es simplemente la presentación grafica de un objeto en la que se pueden mostrar las fuerzas y los momentos que actúan sobre este, el análisis de los diagramas se realiza en el software MDSolids, la misma que previo a la resolución del problema se debe tomar en cuenta las cargas que tiene el elemento.



Figura 54: Diagrama de cuerpo libre del eje

En la figura 55 se muestra el diagrama del cuerpo libre del eje al colocar las cargas y las reacciones ejercidas por los apoyos, además las distancias a la cual están localizadas.

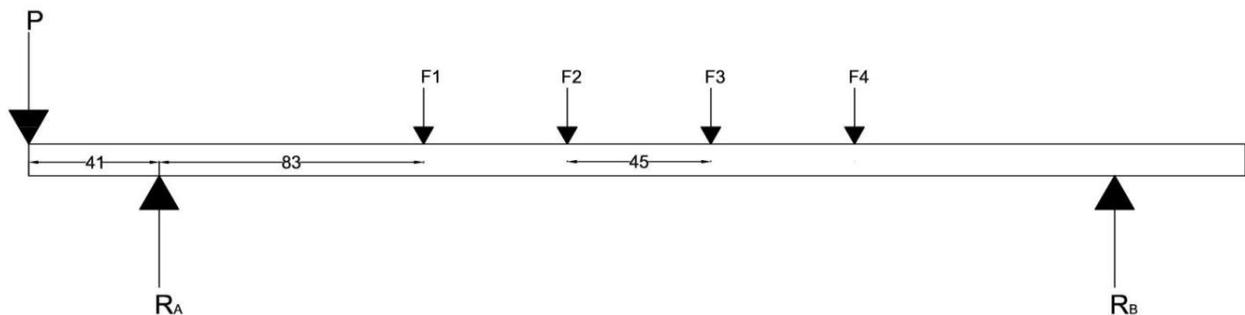


Figura 55: Diagrama de fuerzas en el plano

Dónde:

- P: El peso del actuador giratorio [N]

- F_1, F_2, F_3 y F_4 : Pesos de la porta ventosa [N]
- R_a y R_b : Reacción en los bocines [N]

El dato de los pesos de los de la porta liner, se obtiene al medir la masa de las mismas, en cambio en el peso del actuador giratorio se toma un dato estimado luego de revisar el catálogo de festo, de la cual se obtiene los siguientes datos.

- $m = 30[g]$
- $P = 0,5[Kg]$

Para obtener el peso de cada uno de la porta liner se hace referencia a la ecuación 5, la misma que expresa lo siguiente:

$$P = 0.5 \times 9.81$$

$$P = 4.905[N]$$

Las fuerzas o pesos de las ventosas y porta ventosas esta defina por:

$$F_1 = 0.03 \times 9.81$$

$$F_1 = 0.294[N]$$

En la figura 56 se muestra el diagrama de cuerpo libre con cada una de las cargas.

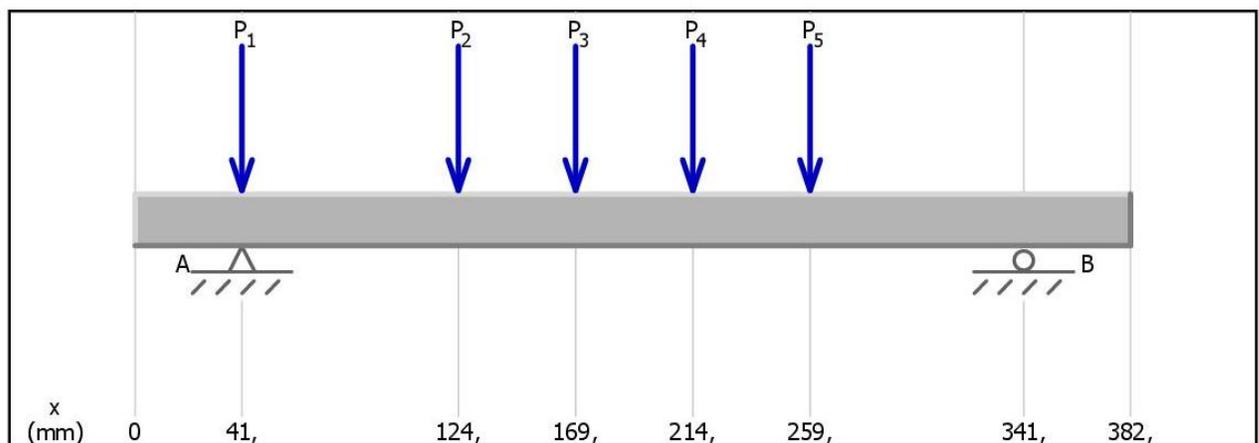


Figura 56: Diagrama de cargas en MDSolids

Dónde:

- $P_1 = 4.905[N]$
- $P_2 = 0.294[N]$
- $P_3 = 0.294[N]$
- $P_4 = 0.294[N]$
- $P_5 = 0.294[N]$

Las reacciones en el punto A y B son $5.49[N]$ y $0.59[N]$ respectivamente, las dos dirigidas hacia arriba.

Uniendo estos resultados en el diagrama de las cortantes se tiene:

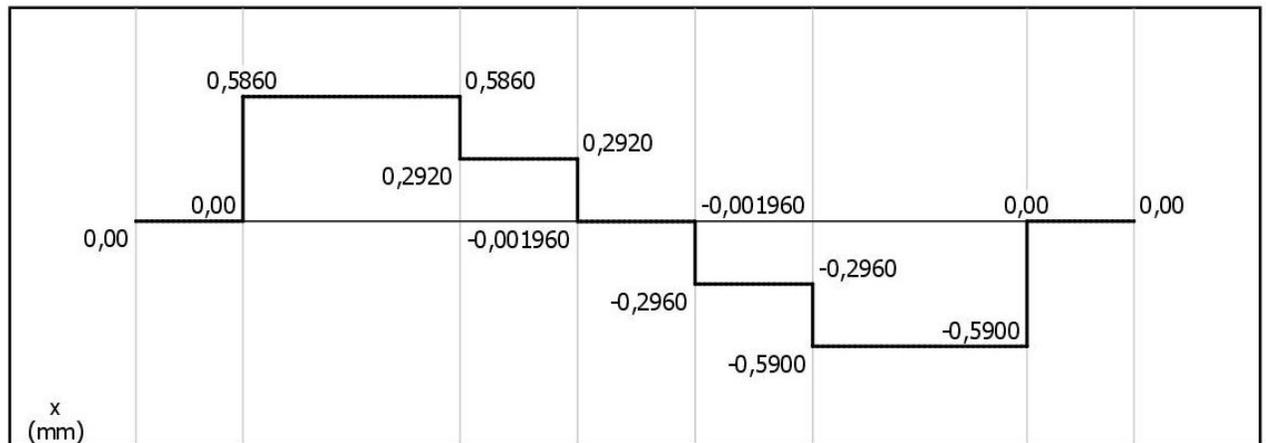


Figura 57: Diagrama de cortes

Mediante la figura 57 se obtiene el área de cada bloque, la misma que esta ordenada de izquierda a derecha.

- $A_1 = 48,64[N \cdot mm]$
- $A_2 = 13,14[N \cdot mm]$
- $A_3 = -13,32[N \cdot mm]$
- $A_4 = -48,38[N \cdot mm]$

Con las áreas encontradas se procede a encontrar el diagrama de momentos, la misma que se muestra a continuación.

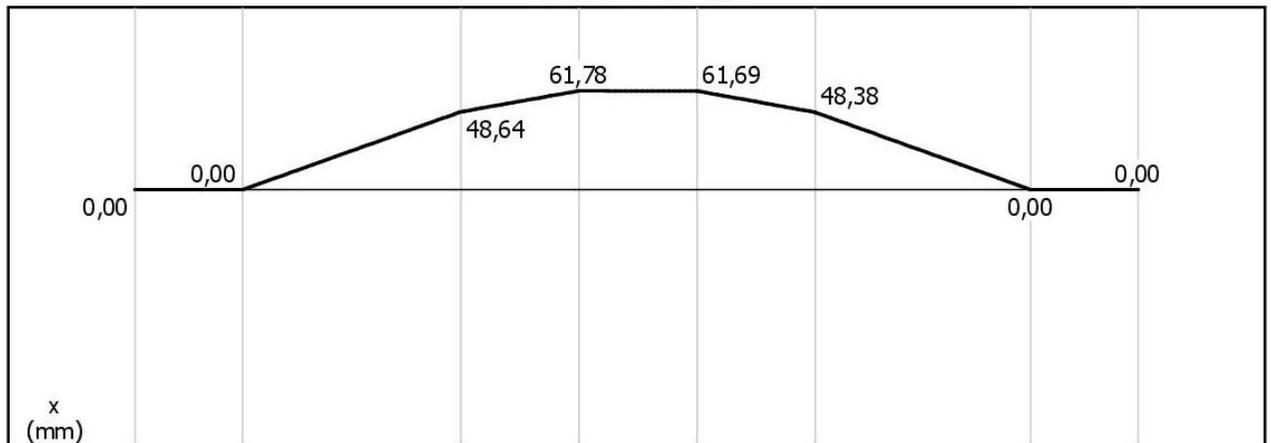


Figura 58: Diagrama de momentos

La figura 58 muestra el valor de 61.78[N.mm], el más alto en este caso positivo, pero esto no influye en nada ya que siempre se toma el valor absoluto.

3.1.3.3 Dimensionamiento y selección del actuador giratorio

El actuador giratorio, como su nombre lo indica tiene la función de girar, en este caso rotar al eje de 0 a 180° su función es tomar el liner y colocarlos en las respectivas tapas. Para lo cual se busca la potencia del motor la misma que viene expresada por la siguiente ecuación.

$$P_m = \frac{P_o}{\eta}$$

Ecuación 16: Potencia del motor

Dónde:

- P_o : Potencia a transmitir
- η : Eficiencia del motor, se considera una eficiencia conservadora del 90%

Se calcula la potencia a transmitir, la misma que viene expresada por la siguiente ecuación.

$$P_o = T \times W$$

Ecuación 17: Potencia a transmitir

Dónde:

- P_o : Potencia a transmitir [hp]
- T : Torque máximo ($61.78[N.m]$)
- W : Velocidad angular [rad/seg]

Previo al cálculo de la potencia a transmitir se busca la velocidad angular la misma que esta expresada por la siguiente ecuación.

$$W = n \frac{2\pi}{60}$$

Ecuación 18: Velocidad angular

Dónde:

- $n = 133.3[rpm]$ ciclos de giro.

Remplazando se tiene:

$$W = 133.3 \times \frac{2\pi}{60}$$

$$W = 13.959[rad/seg]$$

Antes de proceder a realizar el cálculo de la potencia a transmitir se procede a transformar el torque máximo a las unidades del sistema internacional de unidades, el mismo que resulta $0.06178[N.m]$. Con este valor se calcula la potencia a transmitir,

$$P_o = 0.06178 \times 13.959$$

$$P_o = 0.862[W]$$

Trasformando se tiene:

$$P_o = 0.001[hp]$$

Con el dato calculado se obtiene la potencia del motor.

$$P_m = \frac{0.001}{0.90}$$

$$P_m = 0.001[hp]$$

La potencia del motor es muy baja por el cual no es necesario trabajar con servo motores o moto reductores, por las razones expuestas se elige el actuador giratorio neumático que se muestra en la figura 59.

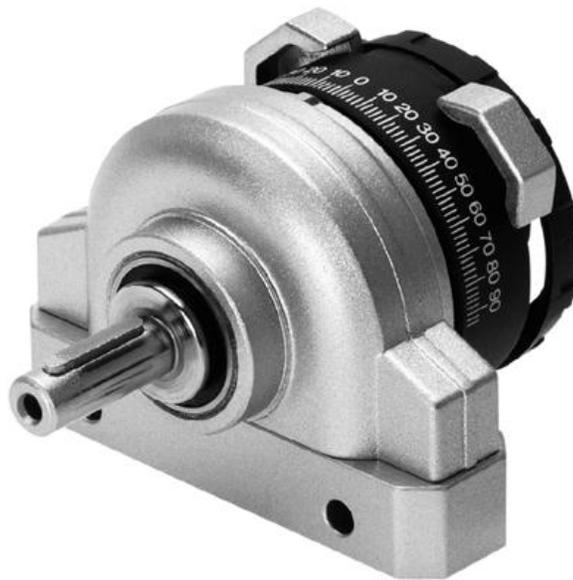


Figura 59: Actuador Giratorio DSR-16-180-P (FESTO, 2004)

Las características del elemento en análisis se describen en la tabla 19, cabe recalcar que se muestran las más importantes, para más información revisar las hojas de datos adjuntos al final del documento.

Tabla 19: Características del actuador giratorio DSR-16-180-P (FESTO, 2004)

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Margen de ajuste del ángulo de giro | 0 - 180 [deg] |
| Ángulo de giro | 180 [deg] |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Presión de funcionamiento | 2 - 8 [bar] |
| Fluido | Aire comprimido filtrado |
| Momento de giro con 6 bar | 2 [N.m] |
| Conexión neumática | M5 |

3.1.3.4 Dimensionamiento y selección de los cilindros verticales

Los dos cilindros neumáticos deben ser capaces de transmitir el movimiento uniforme y sincronizado para evitar desequilibrio del eje.

El peso promedio del conjunto de piezas detallando el actuador giratorio, los acoples y el eje es de aproximadamente 2[Kg], este vienen a ser uno de los aspectos a tomar, el otro es la carrera, para el cual se realiza el análisis que se muestra en la figura 60.

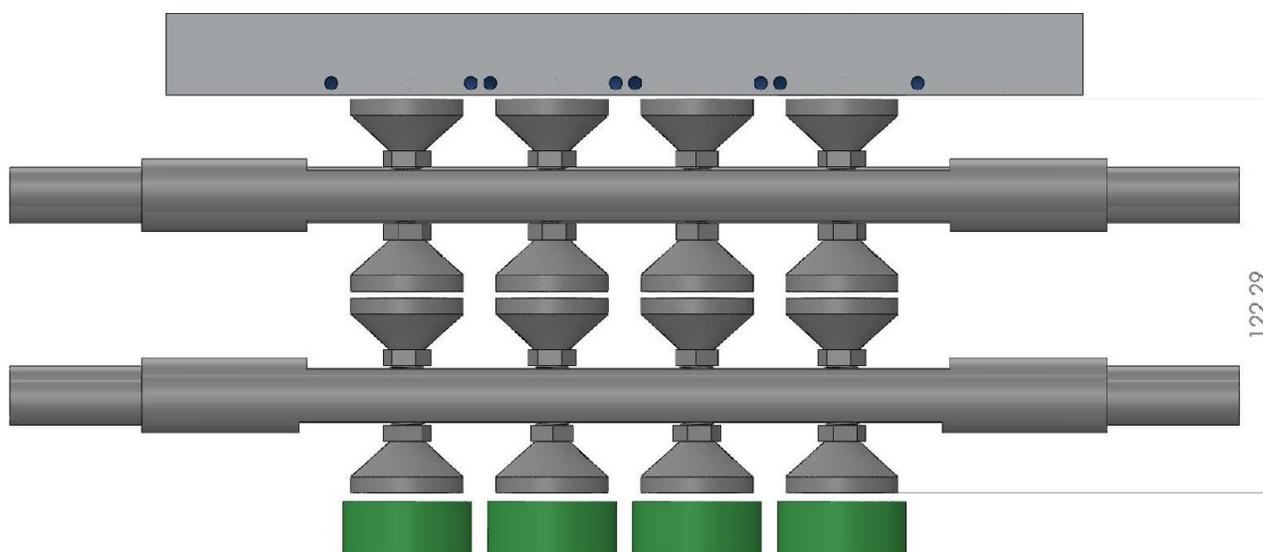


Figura 60: Distancia vertical para el giro del eje

Según la figura 60 la carrera de los cilindros verticales tiene un promedio de 123[mm]. Para hallar el peso del mecanismo a mover se aplica la ecuación 5, la misma que remplazando los datos se tiene:

$$P = 2 \times 9.81$$

$$P = 19.62[N]$$

El valor de la fuerza es de vital importancia para la precisión y la rapidez, pero si ocasiona defectos puede causar averías y daños tanto al equipo como al operador, estos cilindros tienen amortiguaciones al final de la carrera para detener el impacto y poder girar el eje además el aire es estrangulado mediante válvulas anti retorno que permite estabilización a la salida en ingreso del vástago.

Los cilindros seleccionados son de la marca FESTO, las cuales cumplen con las características especiadas por el sistema, que a continuación en la tabla 20 se describe.

Tabla 20: Características del cilindro DNCB-32-125-PPV-A (FESTO, 2004).

| CARACTERÍSTICA | VALOR |
|------------------------------------|--------------------------------------|
| Carrera | 125 [mm] |
| Diámetro del émbolo | 32 [mm] |
| Amortiguación | Regulable en ambos lados (PPV) |
| Detección de la posición | con detector de proximidad |
| Presión de funcionamiento | 0,6 - 12 [bar] |
| Forma de funcionamiento | De efecto doble |
| Fluido | Aire seco, lubricado o sin lubricado |
| Carrera de amortiguación | 20 [mm] |
| Fuerza teórica con 6 bar retroceso | 415 [N] |
| Fuerza teórica con 6 bar, avance | 483 [N] |

A demás este cilindro al contar con ranuras especiales se coloca de forma adecuada en la superficie del mismo dos sensores inductivos las mismas que detectan la posición del embolo, esta característica es esencial para girar y tomar los liners.

A continuación en la figura 61 se muestra la imagen del cilindro expuesto.



Figura 61: Cilindro DNCB-32-125-PPV-A (FESTO, 2004)

3.1.3.5 Elementos de sujeción mecánico

Una vez determinado los cilindros de traslación y el actuador giratorio se tiene completas las variables que intervienen en la estructura de la inserción de liner, las mismas que se muestran a continuación.

a. Soportes del mecanismo

Este elemento soporta la carga general del sistema de enalainado, de acuerdo al uso que se detalla el material de fabricación es resistente, además por tener cargas que están suspendidas con sus respectivos movimientos como es el caso de los cilindros verticales y del actuador giratorio.

Este elemento está anclado a la base y cada uno de los elemento que se encuentran sobre el mecanismo tienen su respectivo acople, los mismos que para el maquinado se toma en cuenta las dimensiones y el peso de los actuadores lineales y giratorios.

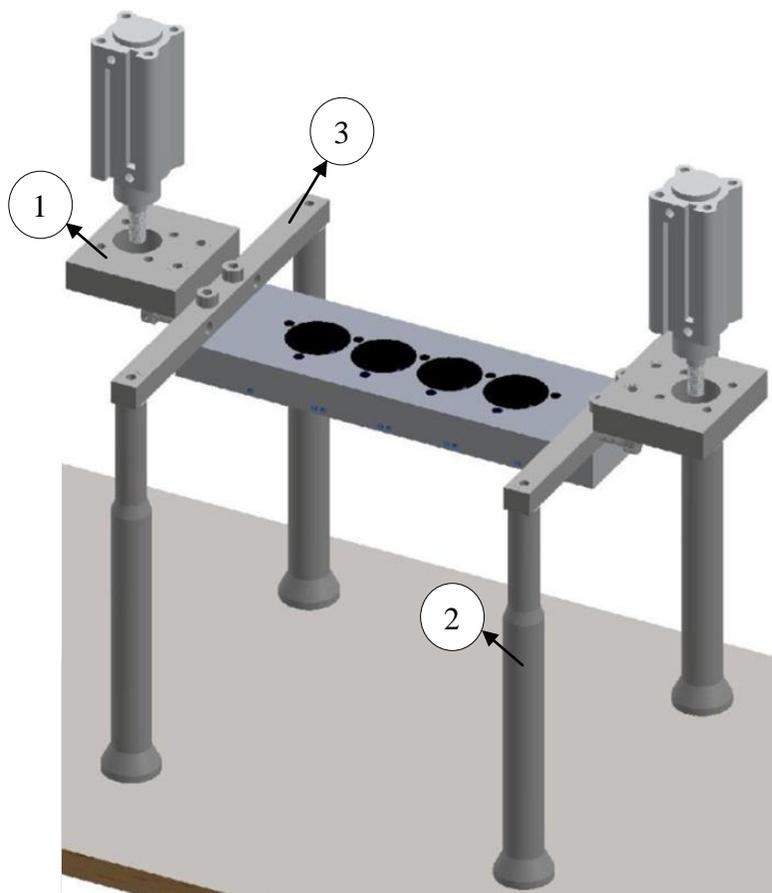


Figura 62: Soportes principales

Dónde:

1. Soporte de los cilindros verticales
2. Columnas de soporte principal
3. Soporta de la porta ventosas

b. Elementos de movimiento lineal y giratorio

La pista vertical por el cual sube y baja el eje toma la forma de un oblongo, el mismo que está sujeto al soporte principal mediante sus respectivos elementos de sujeción, y para evitar el movimiento innecesario del eje se coloca un bocín.

Los elementos del movimiento lineal y giratorio que permiten sincronismo del eje se muestran en la figura 63.

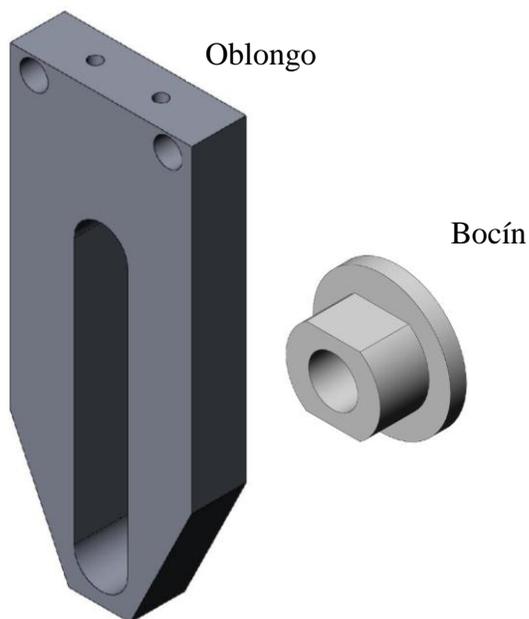


Figura 63: Elementos de movimiento lineal y giratorio

c. Acoples del actuador giratorio

El actuador giratorio tiene dos importantes acoplamiento las mismas que están unidas al cilindro vertical y el eje principal, al primer elemento está unida mediante elementos de sujeción y al segundo mediante una chaveta.

En la figura 64 se muestran los acoples del eje con el actuador giratorio.

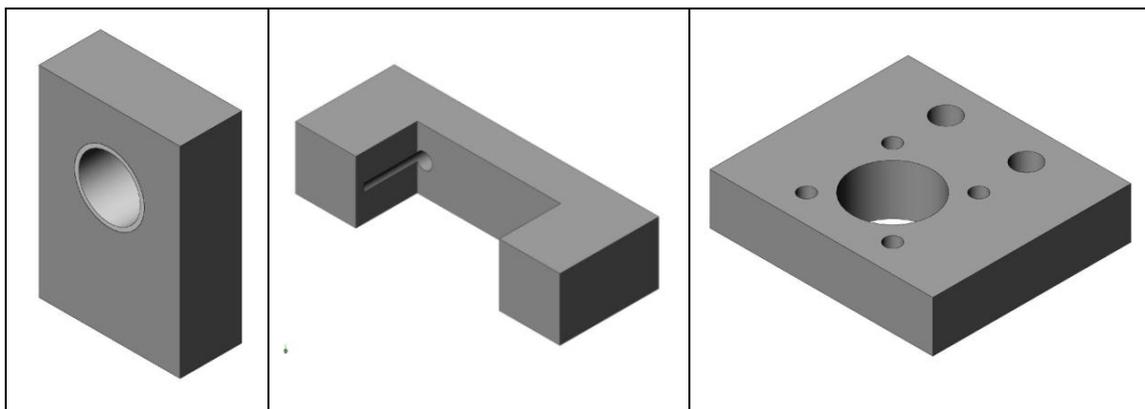


Figura 64: Acoples de actuadores lineal y giratorio

3.1.3.6 Funcionamiento

La inserción de liner inicia al tener presencia de tapas en la pista vertical, posicionadas de forma correcta por el respectivo subsistema, la misma que tiene dos posiciones que a continuación se detalla.

a. Posición inicial

Al dar inicio o arranque el sistema general de la enlainadora de tapas se encuentra como se muestra en la figura 65, la misma que se encuentra con el actuador a 0° y los cilindros verticales con los vástagos contraídos listos para tomar los liners.

En esta posición los liner deben estar correctamente colocados mediante una pesa la misma que facilita el descenso de la columna de los elementos, si están mal colocados falla el vacío dejando así pasar tapas sin liners.



Figura 65: Posición inicial de inserción de liners

b. Posición final

En segunda instancia o posición final, luego de tener bien posicionadas las tapas se activan las respectivas válvulas de control para extraer los vástagos de los cilindros verticales y rotar 180° al actuador giratorio tomando la forma que muestra la figura 66.

En esta posición es en el cual se colocan los liners en cada una de las tapas posicionadas las mismas que son cuatro. Cabe recalcar que para pasar efectuar este trabajo es necesario que exista el correcto posicionamiento de tapas, esto se da gracias al sensor inductivo el cual detecta que exista el cierre correcto de las garras de posición.

La figura 66 se muestra la inserción de liner o posición final del subsistema de enlaidado:

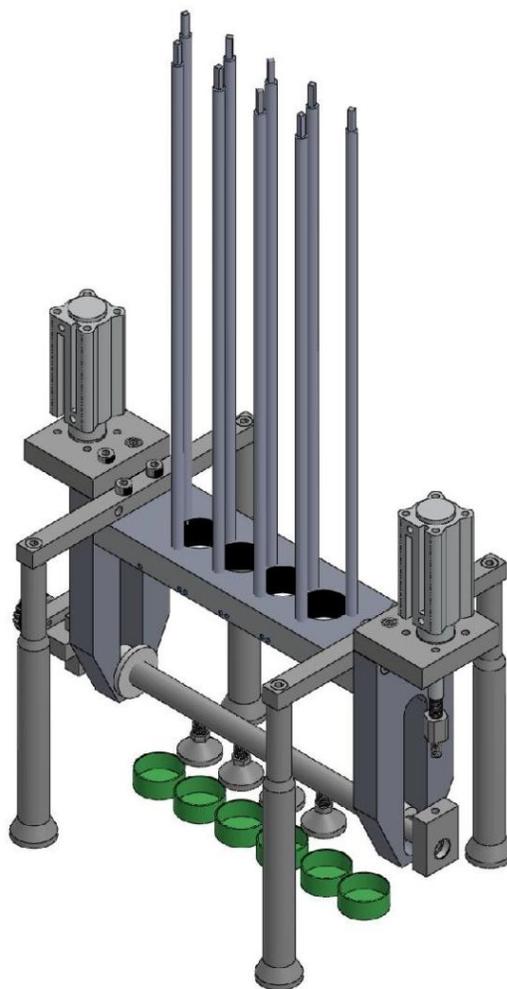


Figura 66: Posición final de inserción de liners

3.1.4 CONDICIONES DEL SISTEMA

3.1.4.1 Flujo de aire

Para desplazar el émbolo de un cilindro neumático se requiere una cierta cantidad de aire a la presión correspondiente a la fuerza de trabajo.

La cantidad de aire que corresponde al volumen de la cámara viene dada por:

$$V = V_{avance} + V_{retroceso}$$

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times L - \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times L$$

$$V = \frac{\pi \times (2D^2 - d^2)}{4} \times L$$

Ecuación 19: Volumen del aire

Dónde:

- L = Longitud carrera [m].
- D : Diámetro del cilindro [m].
- d : Diámetro del vástago [m].

Para disponer de aire y conocer el gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación. Para una presión de trabajo, un diámetro y una carrera de émbolo determinado, el consumo de aire se calcula como se muestra en la ecuación 20.

$$Q = \frac{Vxf}{1000} + \text{Volumenes no evacuados (20\% - 30\%)}$$

Ecuación 20: Flujo de aire

Dónde:

- Q : Caudal [l/min]

- V : Volumen de aire en cada ciclo de trabajo [m^3]
- f : Frecuencia de los ciclos [*ciclos/minuto*]

El ciclo aproximado para cada uno de los cilindros en análisis se toma de acuerdo a la producción máxima por hora que tiene la inyectora de tapas, siendo este dato de 8000 tapas por hora, cabe recalcar que el objetivo del proyecto es enlainer 5000 tapas.

Con lo expuesto anteriormente la frecuencia (f) viene dado por:

$$f = \frac{8000}{60} \approx 133.3[\text{ciclos/minuto}]$$

$$f = \frac{134}{60} \approx 2.222[\text{ciclos/segundo}]$$

La expresión anterior responde a una sola inserción de liner, pero se sabe que en cada ciclo, las tapas enlainadas son cuatro, entonces se procede a calcular la frecuencia final partiendo de la regla de tres simple:

$$F_{final} = \frac{4}{2.222}$$

$$F_{final} = 1.8[\text{ciclos/segundo}]$$

$$F_{final} = 108[\text{ciclos/minuto}]$$

A continuación se realiza el cálculo de volumen para cada uno de los actuadores neumáticos que intervienen en el proyecto, las mismas que en algunos casos están enumeradas para simplificar la ecuación.

De la misma manera se procede a calcular el consumo del aire de cada uno de los elementos que intervienen en el proyecto para al final tener en consideración la presión y el caudal de trabajo del sistema completo, en cada uno de los flujos de aire se toma un 30% de volúmenes no evacuados.

El volumen en el subsistema de traslación está dado por el cilindro toma tapas, y el de traslación, las mismas que están expresadas por V_1 y V_2 respectivamente.

$$V_1 = \frac{\pi \times (2(0.1)^2 - (0.04)^2)}{4} \times 0.1$$

$$V_1 = \frac{\pi \times (0.02 - 0.016)}{4} \times 0.1$$

$$V_1 = \frac{\pi \times (0.0184)}{4} \times 0.1$$

$$V_1 = 0.0014[m^3]$$

$$V_1 = 1.445[litros]$$

El Caudal necesario para el cilindro toma tapas viene expresada por:

$$Q_1 = \frac{V_1 \times F_{final}}{1000} + 30\%$$

$$Q_1 = \frac{1.445 \times 108}{1000} + 30\%$$

$$Q_1 = 0.156 + 30\%$$

$$Q_1 = 0.203[l/min]$$

El volumen de aire y el caudal en el cilindro de traslación se tiene:

$$V_2 = \frac{\pi \times (2(0.24)^2 - (0.08)^2)}{4} \times 1.6$$

$$V_2 = \frac{\pi \times (0.1152 - 0.0064)}{4} \times 1.6$$

$$V_2 = \frac{\pi \times (0.1088)}{4} \times 1.6$$

$$V_2 = 0.136[m^3]$$

$$V_2 = 136.722[litros]$$

$$Q_2 = \frac{V_2 \times F_{final}}{1000} + 30\%$$

$$Q_2 = \frac{136.722 \times 108}{1000} + 30\%$$

$$Q_2 = 14.766 + 30\%$$

$$Q_2 = 19.196[l/min]$$

Sumando V_1 y V_2 se tiene el volumen de aire utilizado en el subsistema de traslación, la misma que se muestra a continuación.

$$V_{traslación} = V_1 + V_2$$

$$V_{traslación} = 1.445 + 136.722$$

$$V_{traslación} = 138.167[litros]$$

$$Q_{traslación} = Q_1 + Q_2$$

$$Q_{traslación} = 0.203 + 19.196$$

$$Q_{traslación} = 19.399[l/min]$$

El consumo de aire en el subsistema de posicionamiento abarca a dos cilindros de similares características la misma que se deduce a continuación.

$$V_{posición} = \left(\frac{\pi \times (2(0.1)^2 - (0.04)^2)}{4} \times 0.25 \right) (2)$$

$$V_{posición} = \left(\frac{\pi \times (0.02 - 0.0016)}{4} \times 0.25 \right) (2)$$

$$V_{posición} = \left(\frac{\pi \times (0.0184)}{4} \times 0.25 \right) (2)$$

$$V_{posición} = (0.0036)(2)$$

$$V_{posición} = 0.0072[m^3]$$

$$V_{posición} = 7.226[litros]$$

$$Q_{posición} = \frac{V_{posición} \times F_{final}}{1000} + 30\%$$

$$Q_{posición} = \frac{7.226 \times 108}{1000} + 30\%$$

$$Q_{posición} = 0.78 + 30\%$$

$$Q_{posición} = 1.014[l/min]$$

El subsistema de inserción de liner está formado de dos cilindros lineales de doble efecto con similares características y un actuador giratorio, las misma que se expresan por V_3 y V_4 respectivamente.

$$V_3 = \left(\frac{\pi \times (2(0.32)^2 - (0.12)^2)}{4} \times 1.25 \right) (2)$$

$$V_3 = \left(\frac{\pi \times (0.2048 - 0.0144)}{4} \times 1.25 \right) (2)$$

$$V_3 = \left(\frac{\pi \times (0.1904)}{4} \times 1.25 \right) (2)$$

$$V_3 = (0.186)(2)$$

$$V_3 = 0.373[m^3]$$

$$V_3 = 373.849[litros]$$

$$Q_3 = \frac{V_3 \times F_{final}}{1000} + 30\%$$

$$Q_3 = \frac{373.849 \times 108}{1000} + 30\%$$

$$Q_3 = 40.375 + 30\%$$

$$Q_3 = 52.488[l/min]$$

El actuador de giro según dice el catalogo tiene una cilindrada para un giro de 270° de 288cm^3 . Sin embargo el actuador elegido es de 180° que representa las $2/3$ partes. Tener en cuenta que la presión absoluta es de 7 [bares] equivalente a 700000 [Pa]. Entonces el consumo se expresa como sigue.

$$V_4 = \frac{2}{3}(288) \times 10^{-6}$$

$$V_4 = 0.000192[\text{m}^3]$$

$$V_4 = 0.192[\text{litros}]$$

$$Q_4 = \frac{V_4 \times F_{\text{final}}}{1000} + 30\%$$

$$Q_4 = \frac{0.192 \times 108}{1000} + 30\%$$

$$Q_4 = 0.021 + 30\%$$

$$Q_4 = 0.216[\text{l/min}]$$

El volumen de aire en el subsistema de inserción de liner es:

$$V_{\text{inserción}} = V_3 + V_4$$

$$V_{\text{inserción}} = 373.849 + 0.192$$

$$V_{\text{inserción}} = 374.041[\text{litros}]$$

$$Q_{\text{inserción}} = Q_3 + Q_4$$

$$Q_{\text{inserción}} = 52.488 + 0.216$$

$$Q_{\text{inserción}} = 52.704[\text{l/min}]$$

Al terminar de realizar el cálculo de volumen de aire para cada uno de los subsistemas que intervienen en la enlainadora de tapas se procede a sumar para obtener el dato de aire total necesario en un ciclo de trabajo.

$$V_{total} = V_{traslación} + V_{posición} + V_{inserción}$$

$$V_{total} = 138.167 + 7.226 + 374.041$$

$$V_{total} = 519.434[\text{litros}]$$

De la misma manera:

$$Q_{total} = Q_{traslación} + Q_{posición} + Q_{inserción}$$

$$Q_{total} = 19.399 + 1.014 + 52.704$$

$$Q_{total} = 73.117[\text{l/min}]$$

3.1.4.2 Regulación de velocidad

Una condición más que se establece a los actuadores para su desplazamiento es la velocidad, esto es debido a que para algunas aplicaciones el actuador podría en lugar de desplazar, golpear la pieza o arrojarla al aire por la inercia que maneja. Es por esto la importancia de poder reducir su velocidad, sin embargo, una excesiva disminución trae como consecuencia el aumento en el tiempo de máquina para la producción, traduciéndose en costos.

La regulación de velocidad de los actuadores es realmente sencilla, pero es necesario seleccionar los componentes adecuados para la optimización del sistema neumático.

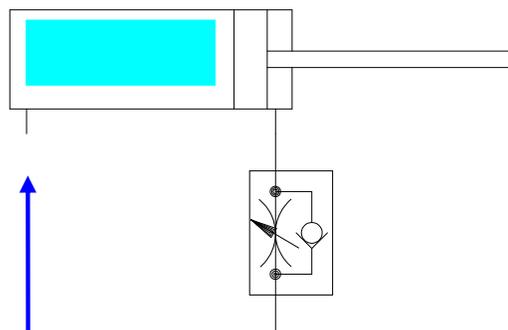


Figura 67: Regulación de velocidad (Gerardo, 2003)

Una válvula reguladora de caudal es una restricción al paso de aire, sin embargo, si se usa esta válvula para limitar el aire que entra hacia el actuador puede tener resultados que no son los deseados. El aire es compresible, por lo que al entrar lentamente a la cámara del actuador la presión se irá acumulando poco a poco, hasta que se alcance la presión necesaria para desplazar al émbolo, una vez que se ha conseguido esta presión mínima, el émbolo se mueve provocando un aumento en el volumen de la cámara que a su vez provoca que la presión caiga, deteniendo el avance del émbolo. Lo anterior se repite constantemente, dando un efecto escalonado en el desplazamiento, a parte que no permite el control eficiente de la velocidad, una situación como la descrita, provoca el desgaste de los elementos suaves del émbolo.

La forma más adecuada de controlar la velocidad de los actuadores, es regulando el aire que escapa de la cámara contraria a la que se llena. El efecto provocado, es una contrapresión que frena al actuador, pero en esta ocasión permite manipular la velocidad de manera uniforme y precisa.

En el proyecto los elementos que necesitan el control de velocidad son aquellas que se detallan en la tabla 21.

Tabla 21: *Elementos con control de velocidad*

| ELEMENTO | COMENTARIO |
|--|--|
| Cilindro de traslación (Avance) | Traslación de tapas de forma uniforme |
| Cilindros de posicionamiento (Avance) | Posicionamiento adecuado de tapas |
| Cilindros verticales (Avance) | El avance controlado permite la rotación correcta del eje |
| Cilindros verticales (Retroseso) | El retroseso controlado permite la rotación correcta del eje |

3.1.4.3 Especificaciones técnicas

La presión total de trabajo está dada de acuerdo a las determinaciones de funcionamiento de cada uno de los actuadores que intervienen en el proyecto, la misma que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 22: *Presión en trabajo de actuadores*

| ELEMENTO | PRESIÓN DE TRABAJO |
|-------------------|--------------------|
| DSNU-10-10-P-A | 1-10[bar] |
| 1130250160CN | 1-10[bar] |
| DSNU-10-25-P-A | 1-10[bar] |
| DNCB-32-125-PPV-A | 0.6-12[bar] |
| DSR-16-180-P | 2-8[bar] |

Según las especificaciones visualizadas en la tabla 22 los actuadores con mayor rango de trabajo son los cilindros verticales (DNCB-32-125-PPV-A) de inserción de liners, por el cual para la especificación de presión de trabajo se toma la mitad más uno del dato que proporciona este actuador, este último debido a diferentes caídas de presión o fugas en el circuito, la misma que es 7 [bares], y como mínimo es la mitad menos uno siendo 5[bares]. En la práctica la presión a la cual está regulado proyecto es a 90 [PSI] equivalente a 6.2 [bares].

3.2 REPRESENTACIÓN DE MOVIMIENTOS SECUENCIALES

Un esquema se dice que es secuencial cuando los movimientos de los cilindros considerados se realizan en un orden determinado llamado **SECUENCIA**. Además, un movimiento no se inicia hasta que el movimiento anterior no se haya realizado y controlado.

Para representar una secuencia, se debe tener en cuenta:

- Los elementos de potencia (cilindros) se designan por las letras **A, B, C**, etc.
- La salida del vástago se representa por “+” y su retorno por “-“.
- Las etapas o fases de los cilindros se describen por orden cronológico.
- Las transiciones se representan por válvulas como pulsadores (**S**), finales de carrera (“ a_1 ” afuera y “ a_0 ” adentro para el cilindro **A**), etc.

3.2.1 DIAGRAMA ESPACIO-TIEMPO

En el diagrama espacio-fase, se puede apreciar el cambio de estado de un elemento de trabajo, pero no se aprecia la velocidad relativa de estos elementos. Es por lo que se usan frecuentemente los diagramas espacio-tiempo. Son de concepción similar a los diagramas espacio-fase solo que en el eje de las abscisas se representa el tiempo que tarda el elemento de potencia en realizar su recorrido.

Los actuadores neumáticos se representan mediante las letras mayúsculas del alfabeto, a continuación se describe el significado.

- A: Cilindro vertical 1
- B: Cilindro vertical 2
- C: Actuador giratorio
- D: Cilindro de traslación
- E: Cilindro toma tapas
- F: Cilindro de posición 1
- G: Cilindro de posición 2

En la figura 68 se muestra el diagrama espacio-tiempo de los actuadores neumáticos implementados en el proyecto.

3.2.2 DIAGRAMAS DE MANDO NEUMÁTICO

Se entiende por órganos de mando o simplemente mando al conjunto de elementos cuya función es gobernar un sistema según leyes internas propias. Dicho de otra forma: es el conjunto de elementos encargados de controlar los órganos que realizan un trabajo. La energía consumida por el mando es mínima; al contrario de lo que consumen los órganos de trabajo, relativamente muy superior.

El diagrama de mando se emplea para representar el estado de actuación o conexión de los distintos elementos de mando o conmutación (válvulas de vías) en función de la fase o el tiempo según se considere uno u otro diagrama anterior. No se tiene en cuenta la representación del tiempo que la válvula necesita para su conmutación, es decir el tiempo que pasa de abierta a cerrada o viceversa, por el cual se considera que el cambio es instantáneo.

En neumática se tiene dos tipos de señales:

- Presencia de aire o presión (estado 1, SI).
- Ausencia de aire o presión (estado 0, NO).

El mando para cada uno de los cilindros lineales y el giratorio que se presentan el proyecto se utilizan válvulas 5/2, las mismas que cambian de estado (posición) dependiendo de la señal que recibe la electroválvula a través del PLC.

A continuación se hace referencia y análisis de los diagramas de mando de cada uno de los subsistemas analizados en el proyecto.

3.2.2.1 Mando neumático en la traslación de tapas

Los elementos necesarios para realizar el trabajo son los que se detallan en la tabla 23.

Tabla 23: *Elementos del mando neumático en traslación de tapas*

| ELEMENTO | CANTIDAD |
|---|----------|
| Cilindro 10[mm] de carrera | 1 |
| Cilindro 160[mm] de carrera | 1 |
| Válvulas de accionamiento eléctrico 5/2 monoestable | 2 |
| Válvula anti retorno estranguladora | 2 |

En la tabla 23 no se enlistan los racores, conectores y las mangueras de conexión debido a que se emplean en cada uno de los elementos analizados, de la misma manera el generador de aire comprimido y los diferentes elementos de instalación hasta llegar a la unidad de mantenimiento. En la figura 69 se muestra el diagrama de mando neumático del subsistema de traslación.

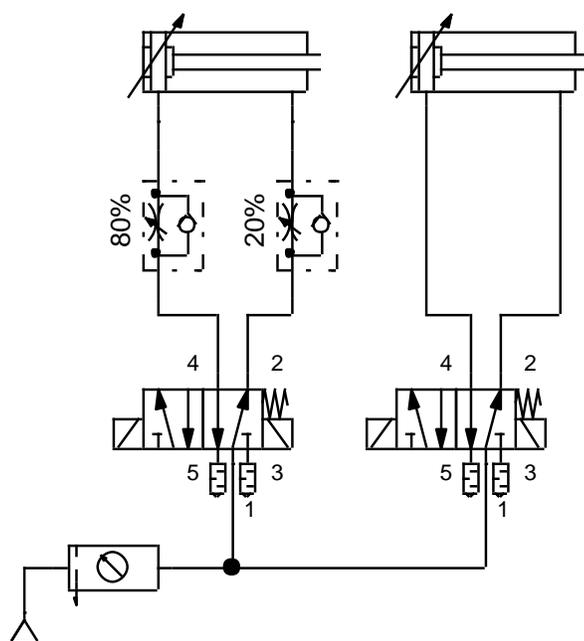


Figura 69: Diagrama de mando de la traslación de tapas

3.2.2.2 Mando neumático del posicionamiento de tapas

Los elementos necesarios para realizar la separación, fijación y el posicionamiento de las cuatro tapas son los que se detallan en la tabla 24.

Tabla 24: Elementos de mando en el posicionado de tapas

| ELEMENTO | CANTIDAD |
|---|----------|
| Cilindro 25[mm] de carrera | 2 |
| Válvulas de accionamiento eléctrico 5/2 monoestable | 1 |
| Válvula anti retorno estranguladora | 2 |

En la figura 70 se muestra el diagrama de mando neumático del subsistema de posicionado de tapas.

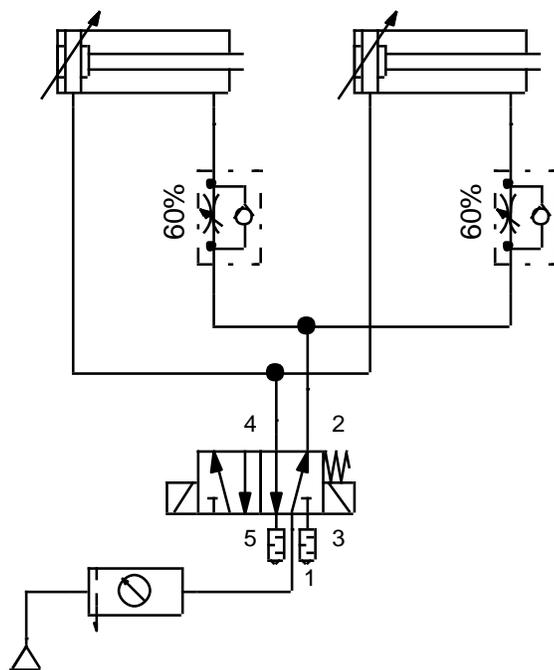


Figura 70: Diagrama de mando del posicionado de tapas

3.2.2.3 Mando neumático para la inserción de liners

Los elementos necesarios para realizar la inserción de liners en las tapas posicionadas en el subsistema anterior son los que se detallan en la tabla 25.

Tabla 25: Elementos de mando en la inserción de liners

| ELEMENTO | CANTIDAD |
|---|----------|
| Cilindro 125[mm] de carrera | 2 |
| Válvulas de accionamiento eléctrico 5/2 monoestable | 2 |
| Válvula anti retorno estranguladora | 4 |
| Actuador giratorio de 180° regulable | 1 |

La activación y desactivación del actuador giratorio depende del movimiento del embolo de los cilindros verticales, si está arriba se encuentra con 0° de giro para tomar el liner y al bajar rota 180° para soltarlo y dejarlas en las tapas correspondientes.

Los dos cilindros están sincronizados de tal forma que el eje tenga el perfecto equilibrio, por esta razón la instalación neumática está dotada de acoples rápidos en forma de T, y válvulas de estrangulación, este último para evitar entradas y salidas bruscas de los vástagos, cabe recalcar que los cilindros tienen ajuste mecánico de actuación en las dos cavidades. En la figura 71 se muestra el diagrama de mando neumático del subsistema de inserción de liners.

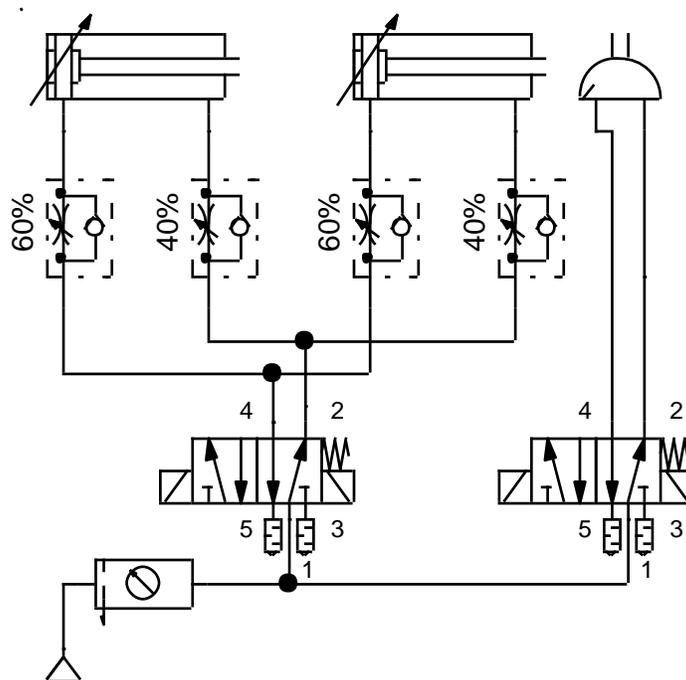


Figura 71: Diagrama de mando en inserción de liner

3.3 SUBSISTEMA DE CONTROL

En los siguientes apartados se revisan las conexiones y el circuito de control necesario para el enlainado de tapas.

3.3.1.2 Protecciones del sistema

Las protecciones están ubicadas en los elementos críticos del sistema, la misma que se detalla en la tabla 26.

Tabla 26: *Protecciones eléctricas del sistema*

| DISPOSITIVO | ELEMENTO A PROTEGER | CANTIDAD |
|-------------|--|----------|
| Fusible 2A | Alimentación AC al PLC | 1 |
| Fusible 2A | Alimentación AC a la fuente | 1 |
| Fusible 2A | Alimentación DC al PLC | 1 |
| Térmico 2A | Alimentación AC al contactor de la bomba | 1 |

Las protecciones están colocadas en los principales dispositivos, esto es por la seguridad de los elementos a causa de variaciones de energía o cortocircuitos por mala maniobra de los mismos en el caso de revisión o mantenimiento.

3.3.2 DISTRIBUCIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL PLC

En la tabla 27 se muestra la distribución de las entradas al PLC S7200.

Tabla 27: *Distribución de las entradas al PLC*

| MARCA | DESCRIPCIÓN |
|-------|---|
| I0.0 | Selector (NC), alimenta tapas a la pista vertical. |
| I0.1 | Selector (NA), al cambiar de estado inicia el ciclo de inserción de liner. |
| I0.2 | Sensor inductivo, cambia de estado al detectar que los vástagos de los cilindros verticales están extraídos. |
| I0.3 | Sensor inductivo, cambia de estado al detectar que los vástagos de los cilindros verticales están contraídos. |
| I0.4 | Pulsador de reset general del sistema. |
| I0.5 | Switch de paro del proceso. |
| I0.6 | Falla de posicionamiento (Detiene el proceso general de producción) |

De la misma manera se procede a realizar el análisis de las salidas utilizadas en el proceso, el mismo que se muestra en la tabla 28.

Tabla 28: *Distribución de las salidas del PLC*

| MARCA | DESCRIPCIÓN |
|-------|---|
| Q0.0 | Solenoide de la válvula 5/2 de los cilindros de posicionado de tapas. |
| Q0.1 | Solenoide de la válvula 5/2 del cilindro de traslación de tapas. |
| Q0.2 | Solenoide de la válvula 5/2 del cilindro toma tapas. |
| Q0.3 | Solenoide de la válvula 5/2 del actuador giratorio. |
| Q0.4 | Solenoide de la válvula 5/2 de los cilindros verticales. |
| Q0.5 | Solenoide de la válvula 2/2 del paso del vacío. |
| Q0.6 | Solenoide de la válvula 2/2 del paso del aire de refrigeración a la bomba de vacío. |
| Q0.7 | Solenoide de la válvula 5/2 de respaldo. |

El uso de cada una de las entradas y salidas, se realiza de forma lógica acorde a la función a desempeñar de cada elemento. Es fundamental realizar la distribución de entradas y salidas porque ayuda la conexión del hardware y la correcta programación del software.

Las conexiones del PLC S7-200 implementado en el proyecto se detallan en el **anexo E**, adjunto al final del documento, en el cual para su alimentación se utiliza una fuente de 110[V] en corriente alterna y 24 [V] en corriente continua para suministrar energía a las entradas del PLC.

3.3.2.1 Conexión de sensores

Los sensores inductivos incorporan una bobina electromagnética que es usada para detectar la presencia de un objeto de metal conductor. Ignoran los objetos no metálicos. Son utilizados principalmente en la industria, tanto para aplicaciones de posicionamiento como para detectar la presencia de objetos metálicos en determinados contextos (control de presencia o de

ausencia, detección de paso, de atasco, de posicionamiento, de codificación y de conteo). (Chambi, 2011).

En el proyecto son utilizados para detectar la posición de los émbolos de los cilindros verticales que suben y bajan el eje de forma sincronizada, con el fin de enviar señales a las respectivas bobinas mediante el PLC tanto al transportador de tapas como al actuador giratorio, de igual manera a las válvulas de control de vacío.

A continuación en la figura 73, se muestra el sensor SME-8M-DS-24V-K-2.5 y su diagrama de conexión.

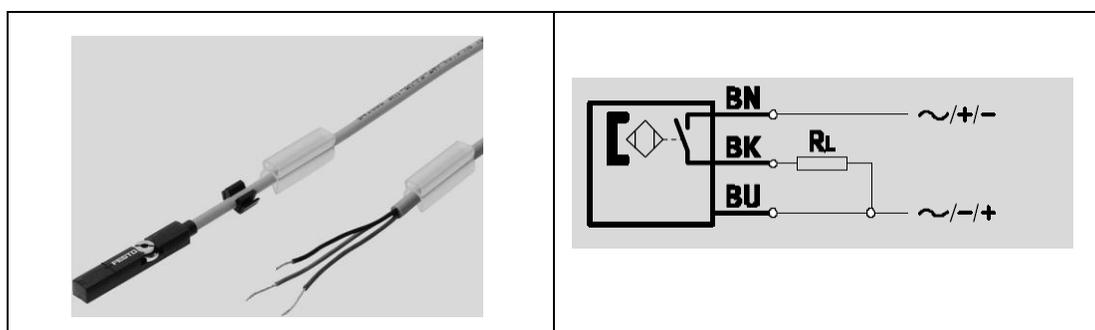


Figura 73: Sensor SME-8M-DS-24V-K-2.5 (FESTO, 2014)

3.3.2.2 Bomba de vacío

La conexión de la bomba de vacío se lo realiza con una alimentación de 220 VAC, controlada por una bobina de 110[V] al contactor con su respectiva protección.

El principio de funcionamiento es de la siguiente manera, el gas aspirado por la boca de aspiración se bombea a través de la cámara A-B hasta el interior de la bomba, aprisionado entre cada dos palas del impulsor que gira excéntricamente respecto al anillo líquido formado en la periferia del aro de la bomba. Las variaciones progresivas del volumen encerrado entre 2 palas crea primero una depresión y seguidamente una compresión del gas en el ciclo B-C hasta su expulsión a través de la cámara C-D mezclado con parte de líquido que debe reponerse continuamente. (NASH by Gardner Denver, 2014).

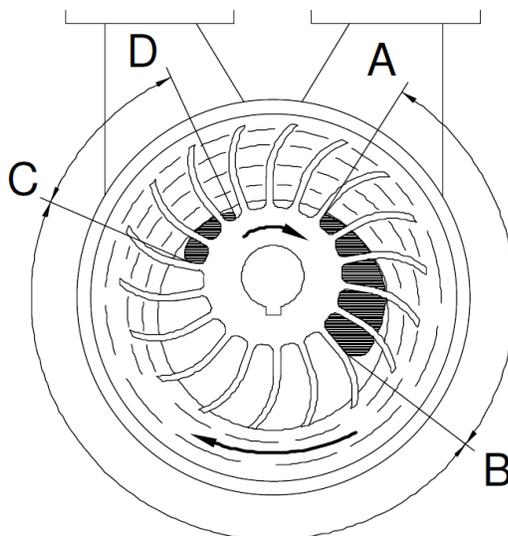


Figura 74: Bomba de vacío principio de funcionamiento (Pompetravaine, 2014)

Las conexiones y el programa de control se muestran al final del documento, específicamente en los anexos E y A, las mismas que son de conexión electro neumático y el programa ladder respectivamente.

3.3.3 CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

En la figura 75 se observa el diagrama de bloques del subsistema acomodador de tapas, en donde el comparador es el elemento mecánico de desalojo de tapas (visualizar la figura 23), el cual deja pasar las tapas acomodadas en forma correcta (boca arriba), y desecha las incorrectas (boca bajo), estas últimas son colocadas después de un tiempo determinado en la tolva para que repetir el ciclo de la alimentación.

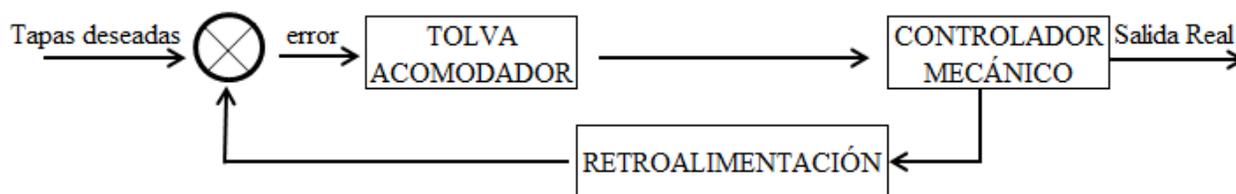


Figura 75: Diagrama de bloques de la alimentadora de tapas

En el subsistema de traslación y posicionado se tiene un controlador de tapas mal ubicadas en la pista vertical en el cual se va a realizar la inserción del liner, cabe recalcar que son trasladadas de cuatro en cuatro por el cilindro toma tapas. Cada una de las señales que intervienen en el proceso están controladas por los sensores de los cilindros verticales y el mismo sensor que detecta el atascamiento de tapas, estas interactúan de forma directa con el PLC.

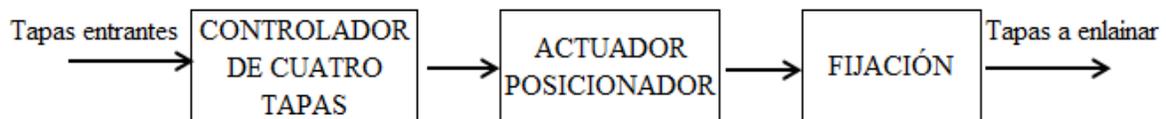


Figura 76: Diagrama de bloques del posicionado de tapas

En la figura 77 se observa el proceso automático de la inserción de liner, en el cual los actuadores son programados para realizar su trabajo a través de las señales electrónicas del PLC. Este es un sistema de control en lazo cerrado, el mismo que a través de un sensor detecta tapas mal posicionadas y detiene el sistema hasta realizar las correcciones pertinentes.

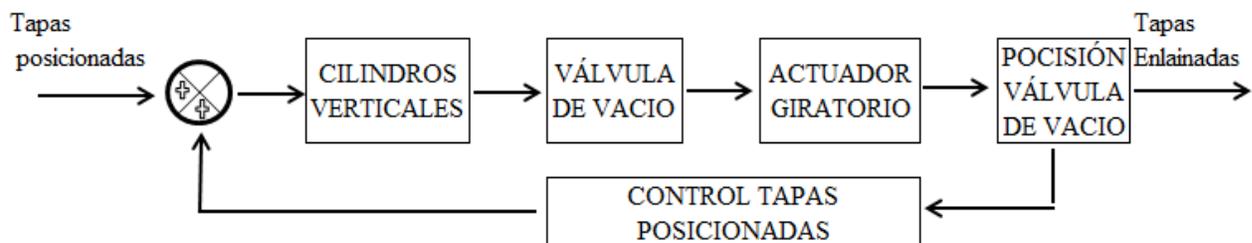


Figura 77: Diagrama de bloques de inserción de liner

En el sistema en caso de fallas está instalada una alarma visual, la misma que indica error de proceso y detiene la producción en cualquier instante del tiempo, el defecto es corregida por el operador de turno, en el caso de que no sea posible se coloca un paro de emergencia, el cual des energiza todo el sistema en forma instantánea. Los errores frecuentes son: falta de

alimentación, tapas trabadas, falta de lubricación, entre otros, para la corrección de los defectos expuestos el usuario tiene a su alcance el manual de operación.

A continuación en la figura 78 se muestra el diagrama control general del proyecto, lógicamente cumpliendo los requerimientos expuestos anteriormente en cada uno de los subsistemas de control

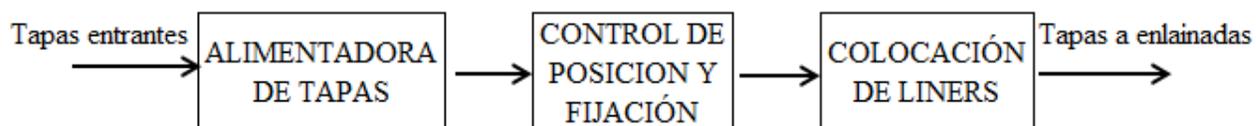


Figura 78: Diagrama de bloques general

CAPÍTULO IV IMPLEMENTACIÓN

4 ENSAMBLAJE DE ELEMENTOS

El sistema general está formado de elementos móviles y fijos, en este apartado se explica el ensamblaje y la forma de acoplamiento entre cada mecanismo.



Figura 79: Diagrama general del sistema

El montaje de los elementos mecánicos y neumáticos se detalla de la misma manera que se ha estado realizando en los capítulos anteriores por subsistemas las mismas que son: alimentación, traslación, posicionamiento e inserción de liners, para el desglose de procedimientos se usa la simbología indicada en la tabla 29.

Tabla 29: Simbología de los diagramas de flujo

| ACTIVIDAD | SIMBOLOGÍA |
|---|------------|
| Operación: Muestra las fases del proceso. | ○ |
| Inspección: Verificación de la calidad y/o cantidad. | □ |
| Desplazamiento o Transporte: Movimiento de equipo, material de un lugar a otro. | ➔ |
| Depósito provisional o espera: Indica demora en el desarrollo de los hechos. | D |
| Almacenamiento permanente: Indica depósito de un documento o información dentro de un archivo u objeto cualquiera en un almacén. | ▽ |

4.1 MONTAJE DE LA MESA DE TRABAJO

El ensamblaje de la mesa de trabajo se muestra en la figura 80.

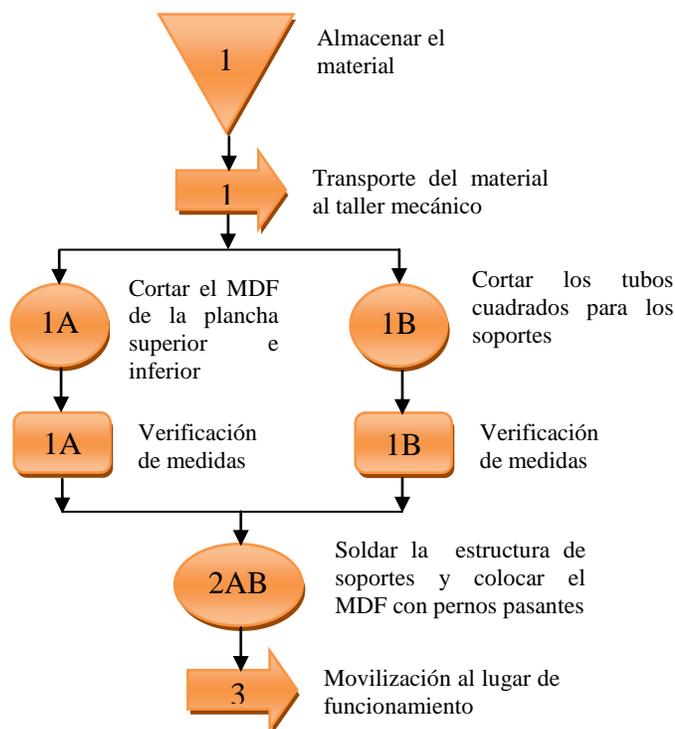


Figura 80: Diagrama de flujo del ensamblaje de la mesa de trabajo

4.2 MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Se considera subsistema de alimentación a la alimentadora y a la pista por el cual transitan las tapas hasta su almacenamiento final. A continuación en la figura 81 se muestra el diagrama de flujo del subsistema.

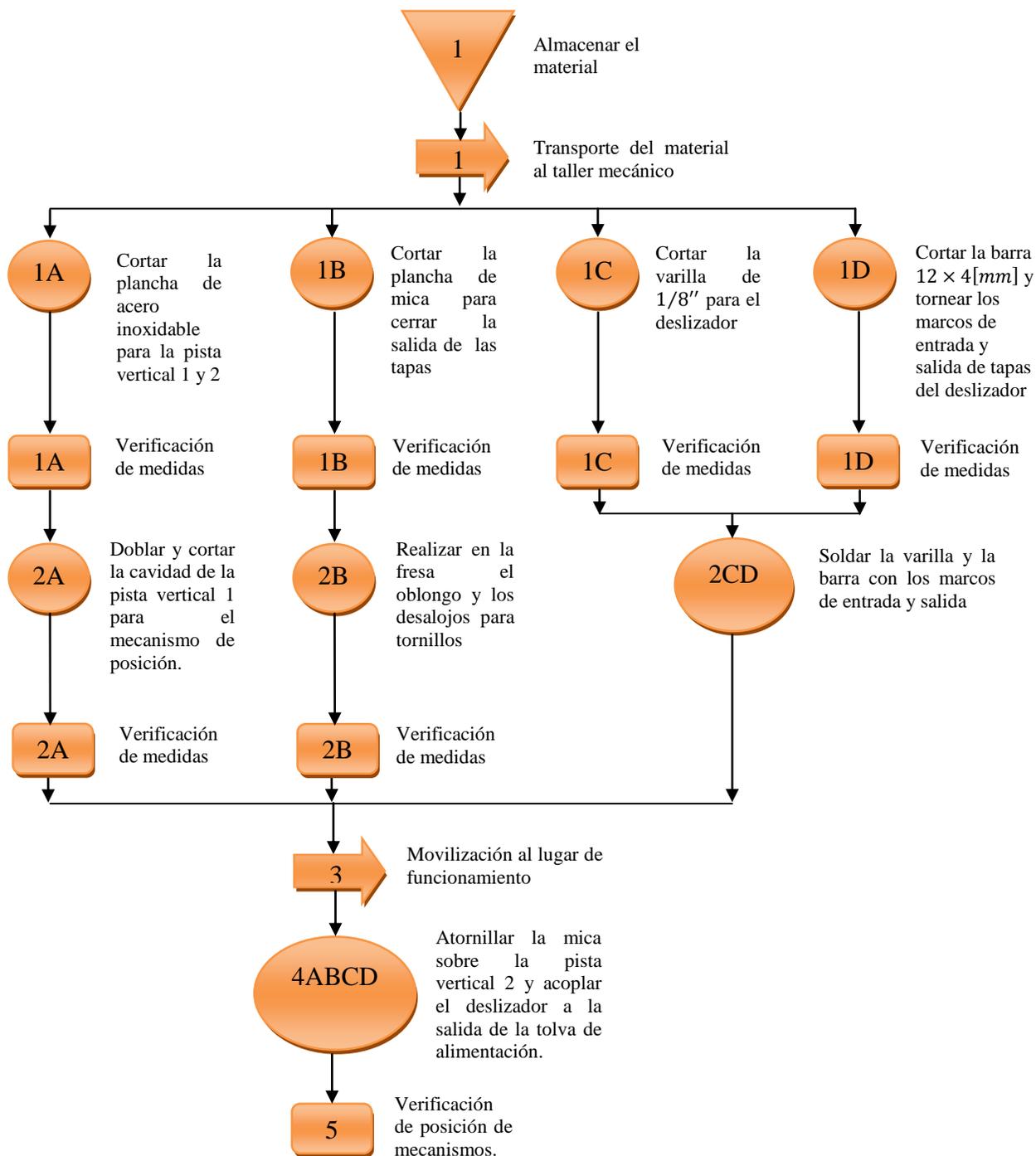


Figura 81: Diagrama de flujo del mecanismo de alimentación de tapas

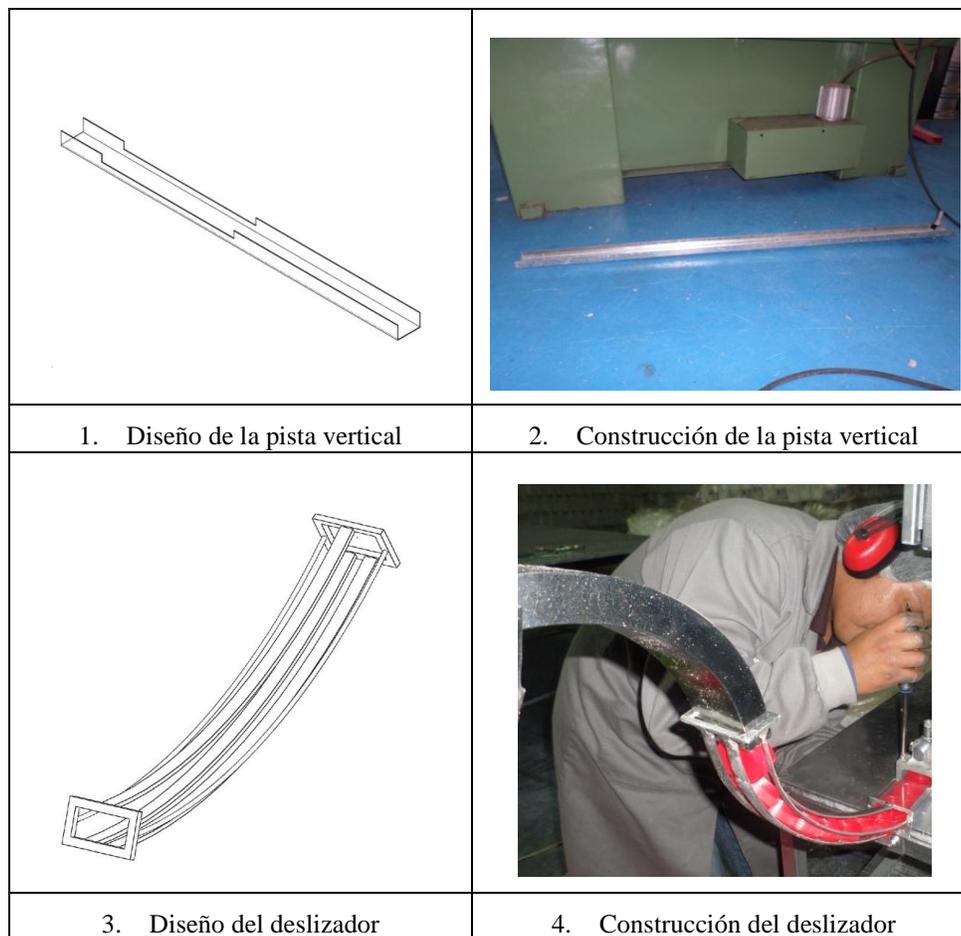


Figura 82: Construcción del subsistema de alimentación

4.3 MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE TRASLACIÓN

El subsistema de traslación está compuesto por elementos mecánicos y neumáticos, la imagen del elemento en análisis se puede visualizar en el capítulo 3 en el apartado 3.1.2.1, en las figuras 44 y 45 las mismas que representan el funcionamiento del mecanismo.

4.3.1 MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Los elementos mecánicos son aquellos elementos que se encuentran fijos como en el caso de los soportes, y móviles en el caso de las guías y los acoples, en la figura 83 se muestra el diagrama de flujo del proceso de montaje.

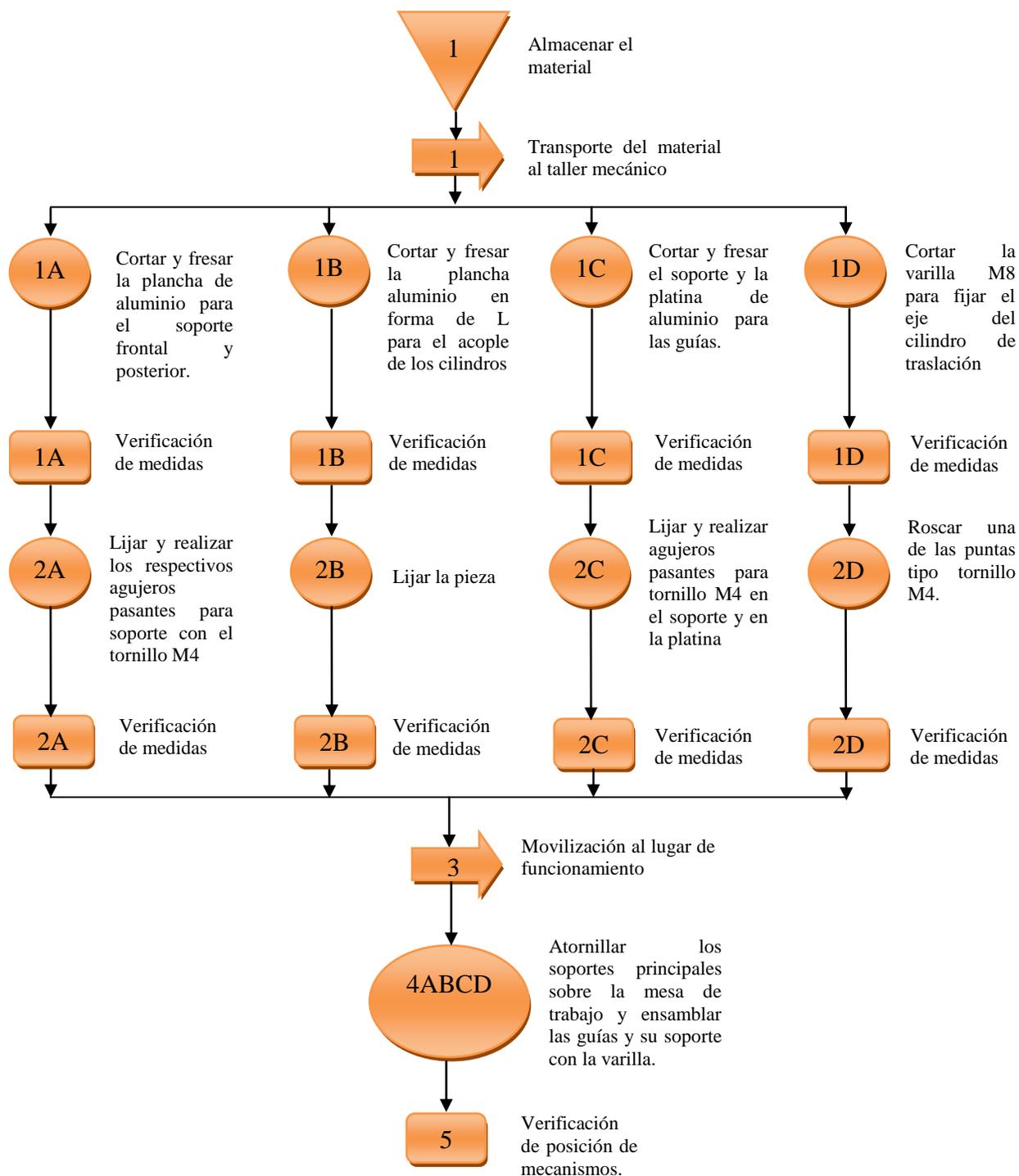


Figura 83: Diagrama de flujo mecánico del subsistema de traslación

A continuación en la figura 84 se muestra el diseño y construcción del mecanismo de traslación.

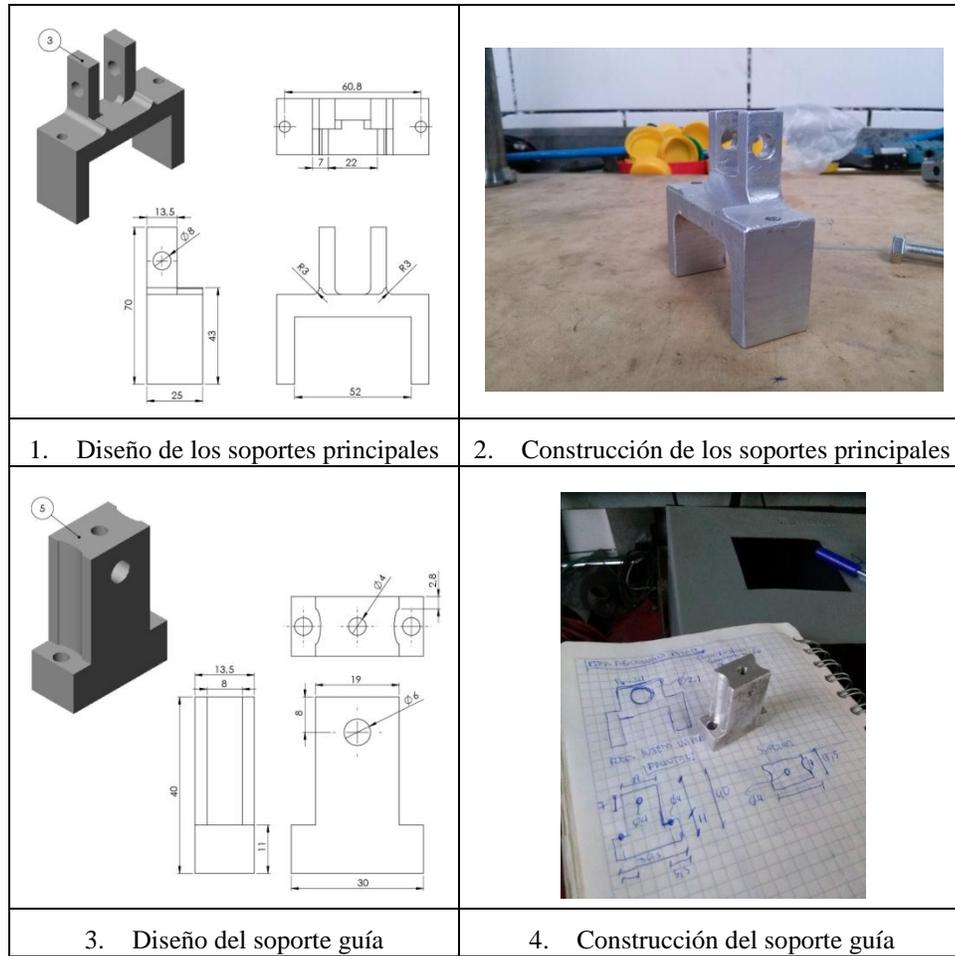


Figura 84: Construcción del subsistema mecánico de traslación

4.3.2 MONTAJE DE ELEMENTOS NEUMÁTICOS

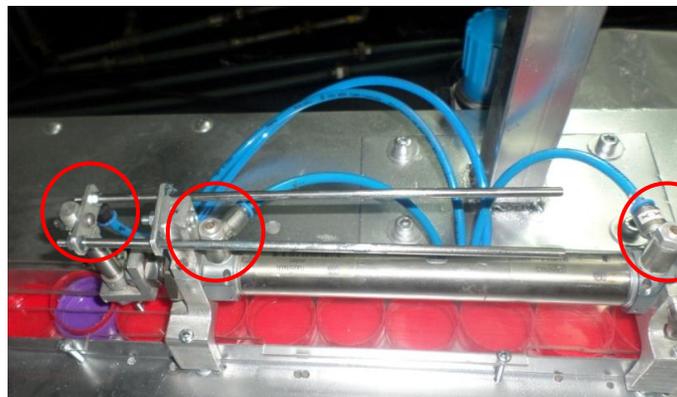


Figura 85: Elementos neumáticos de traslación

En la figura 86 se muestra el diagrama de flujo del ensamble de los elementos neumáticos en el subsistema de traslación.

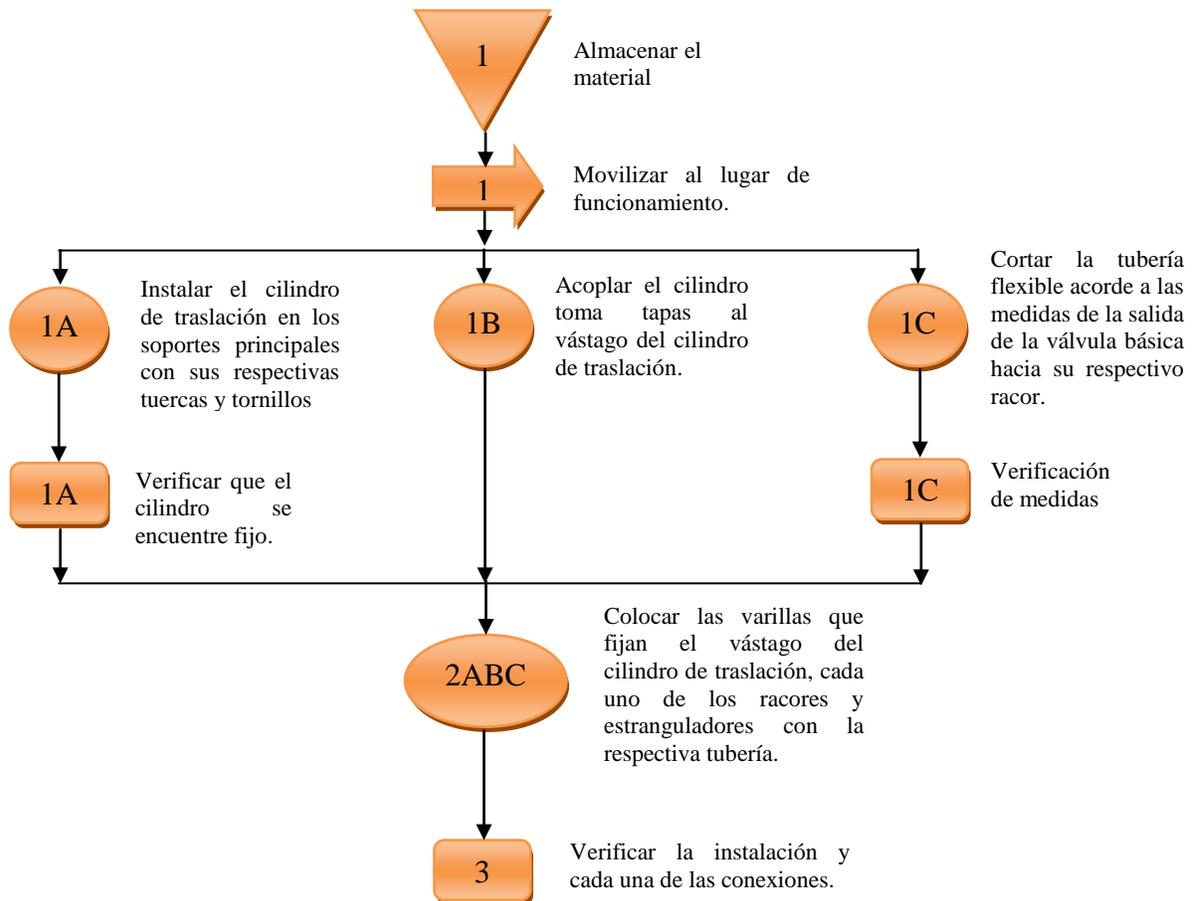


Figura 86: Diagrama de flujo del sistema neumático de traslación

4.4 MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE POSICIÓN

El subsistema de posición está compuesto por elementos mecánicos y neumáticos, la imagen del elemento en análisis se puede visualizar en el capítulo 3 en el apartado 3.1.2.2, en las figuras 49 y 50 las mismas que representan el funcionamiento del mecanismo.

4.4.1 MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Los elementos mecánicos al igual que en el sistema anterior pueden ser móviles y fijos, a continuación en la figura 87 se muestra el diagrama de flujo del ensamble de los elementos mencionados.

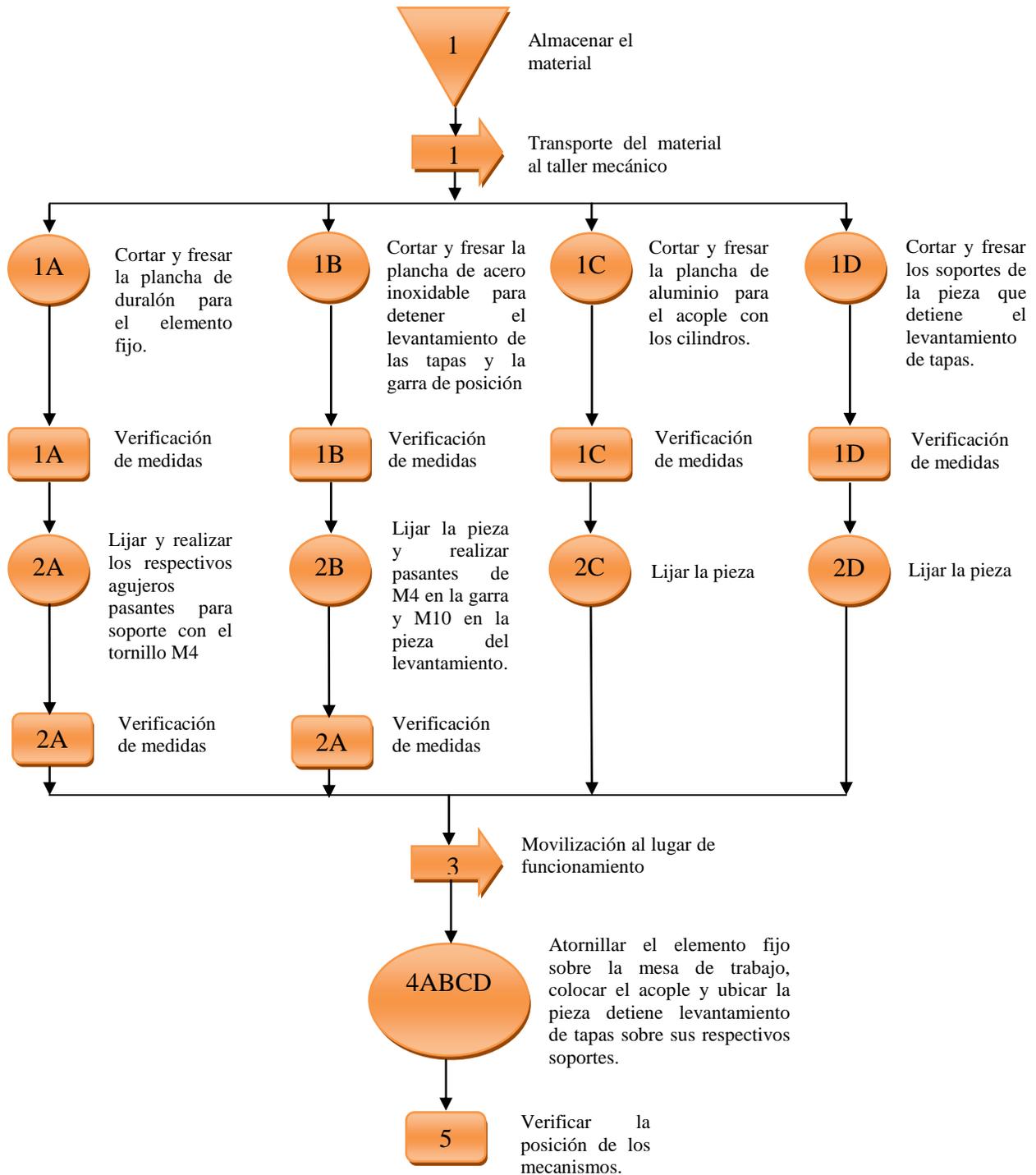


Figura 87: Diagrama de flujo de los elementos mecánicos de posición

En la figura 88 se muestra el diseño y construcción de los elementos mecánicos de posición.

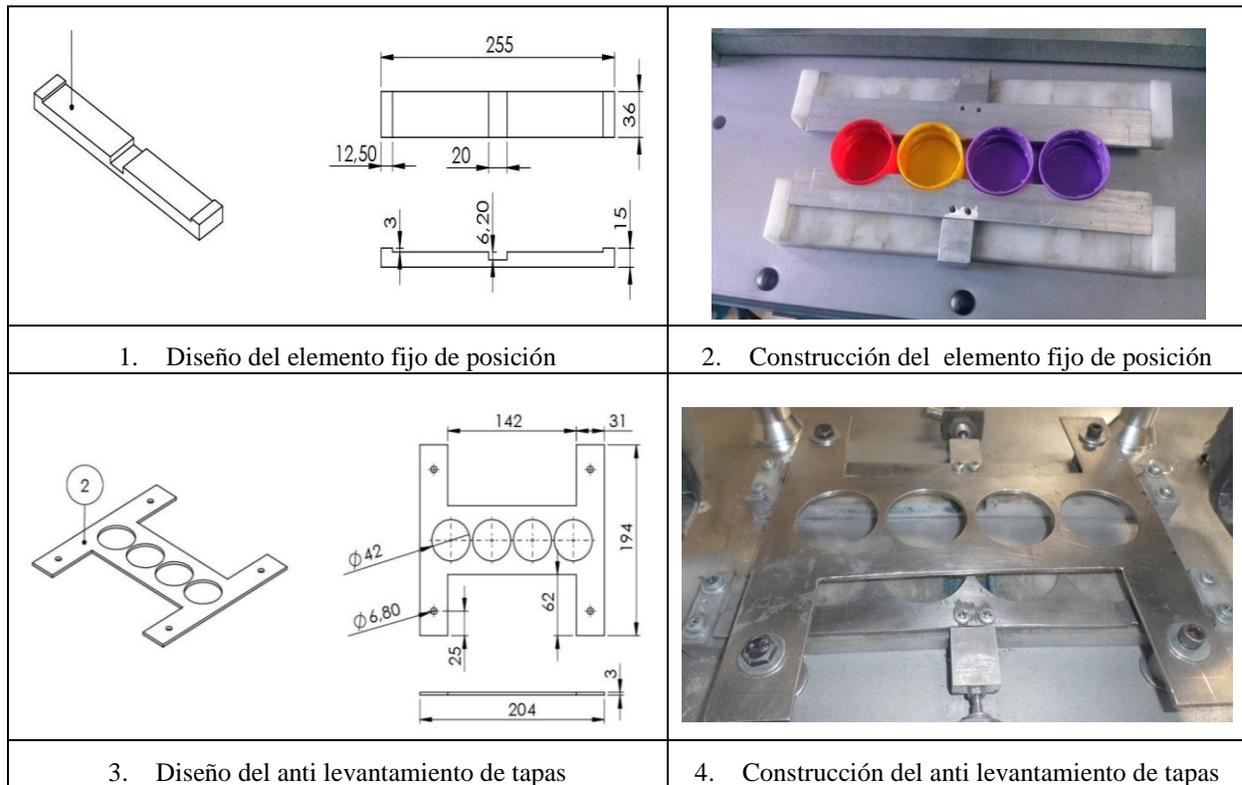


Figura 88: Construcción del subsistema mecánico de posición

4.4.2 MONTAJE DE ELEMENTOS NEUMÁTICOS

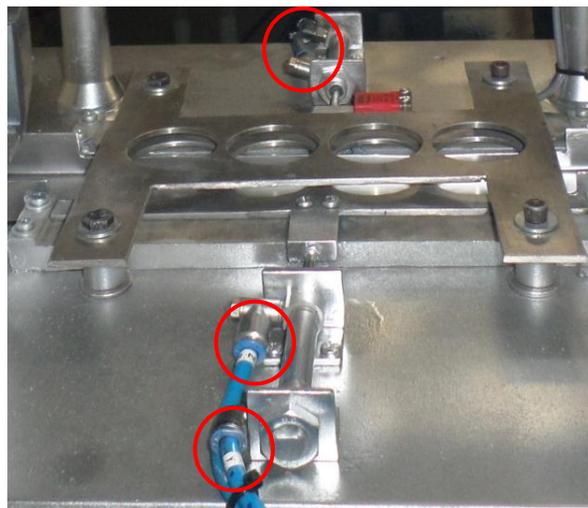


Figura 89: Elementos neumáticos de posición

En la figura 90 se muestra el diagrama de flujo del ensamble de los elementos neumáticos en el subsistema de posición.

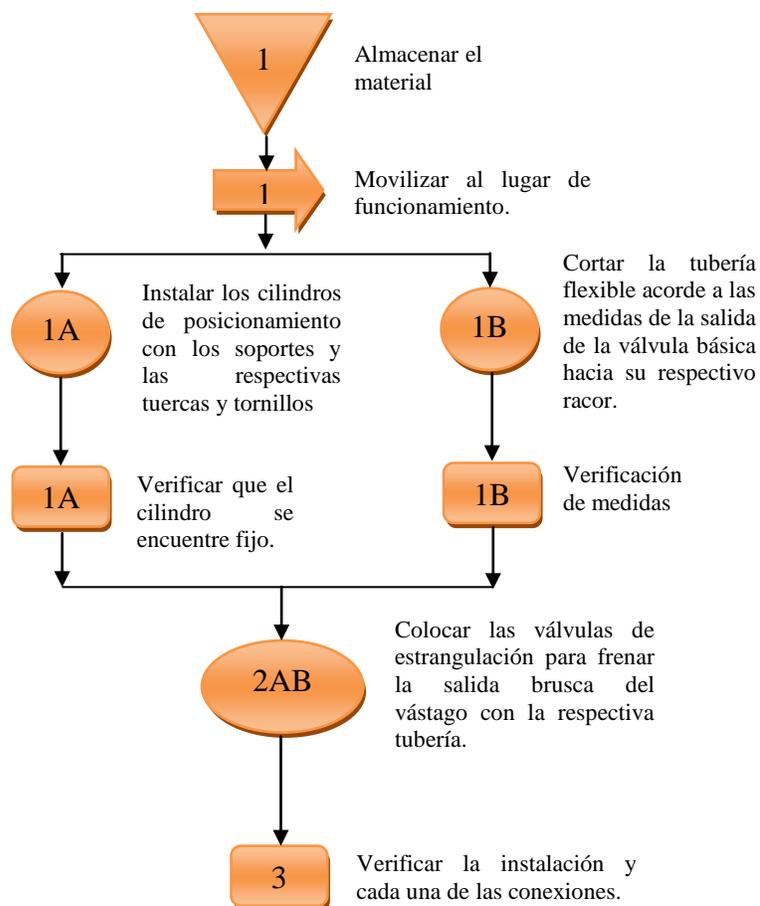


Figura 90: Diagrama de flujo del subsistema neumática de posición

4.5 MONTAJE DEL SUBSISTEMA DE INSERCIÓN DE LINERS

El subsistema de inserción de liners es el mecanismo más complejo y de difícil instalación por el cual se analiza por partes las mismas que son: en el ensamble mecánico la estructura de soporte y el mecanismo giratorio, de la misma manera el montaje neumático. La imagen del elemento en análisis se puede visualizar en el capítulo 3 en el apartado 3.1.3.6, en las figuras 65 y 66 las mismas que representan el funcionamiento del mecanismo.

4.5.1 MONTAJE DE ELEMENTOS MECÁNICOS

4.5.1.1 Estructura de soporte

En la figura 91 se muestra el diagrama de flujo del montaje de la estructura principal.

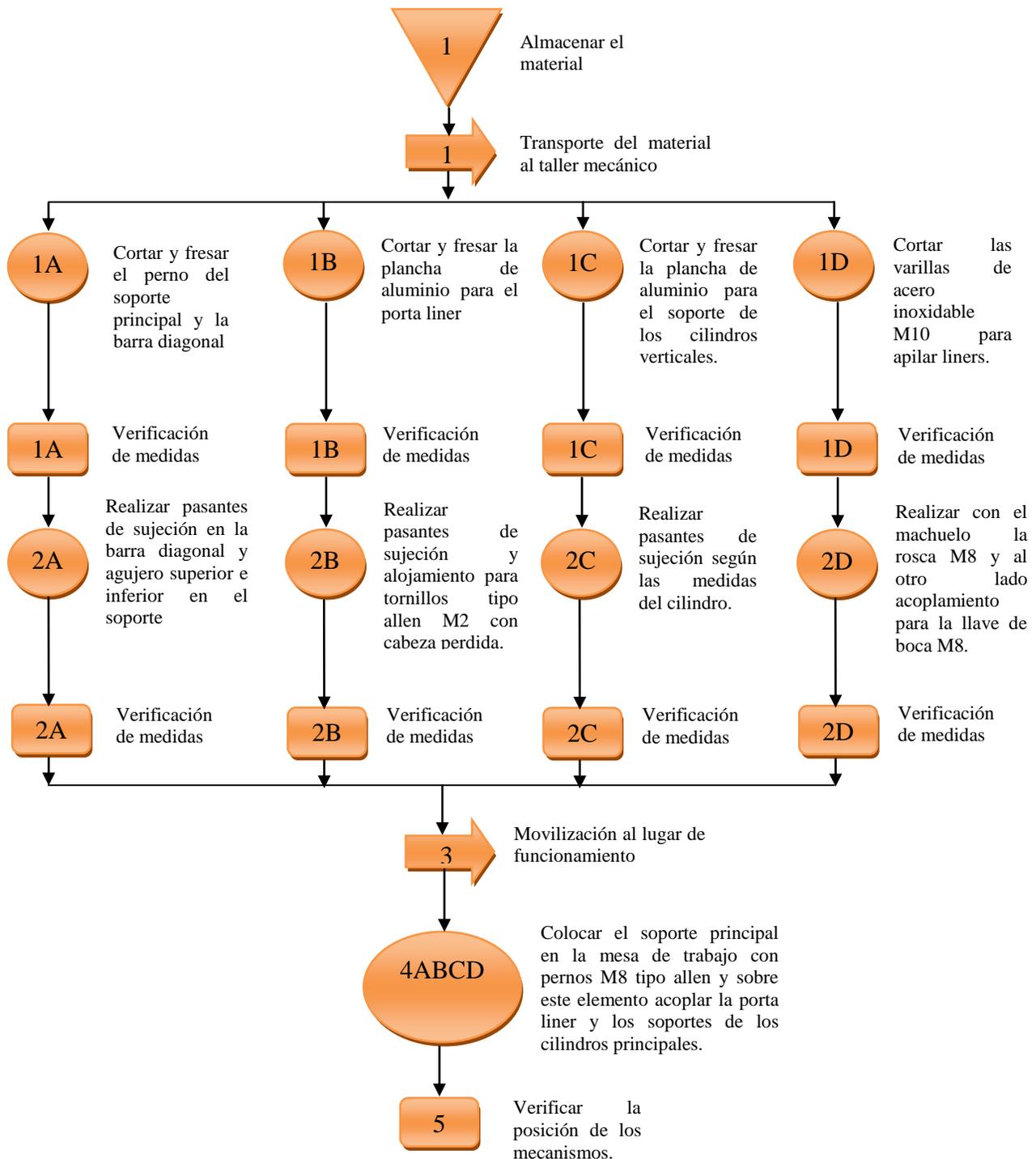


Figura 91: Diagrama de flujo del soporte de la inserción de liners

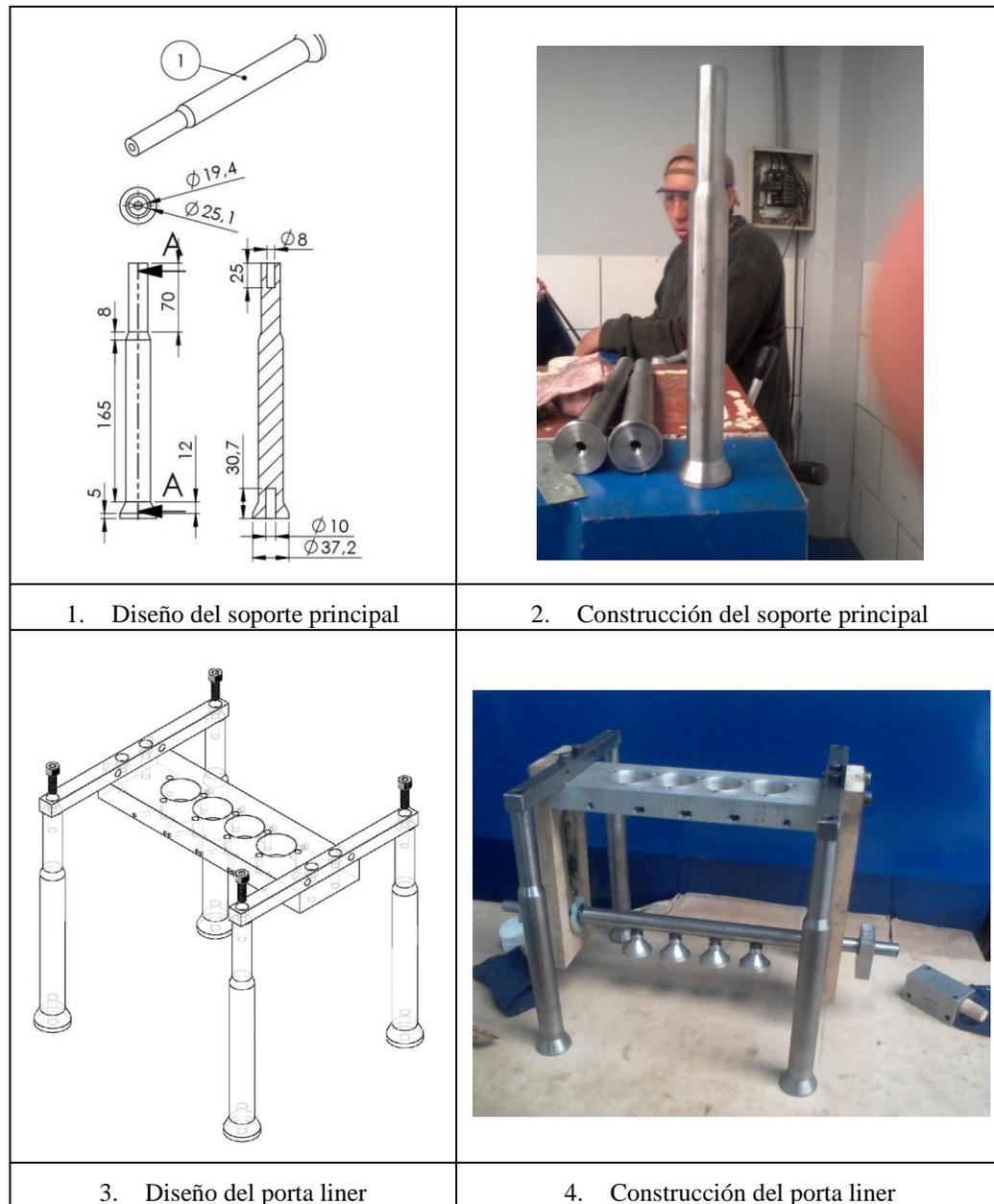


Figura 92: Montaje de soporte de la inserción de liner

4.5.1.2 Montaje del mecanismo giratorio

En la figura 93 se muestra el diagrama de flujo de ensamblaje de los elementos del mecanismo giratorio, y de la misma manera en la figura 94 se muestra la construcción del subsistema en análisis.

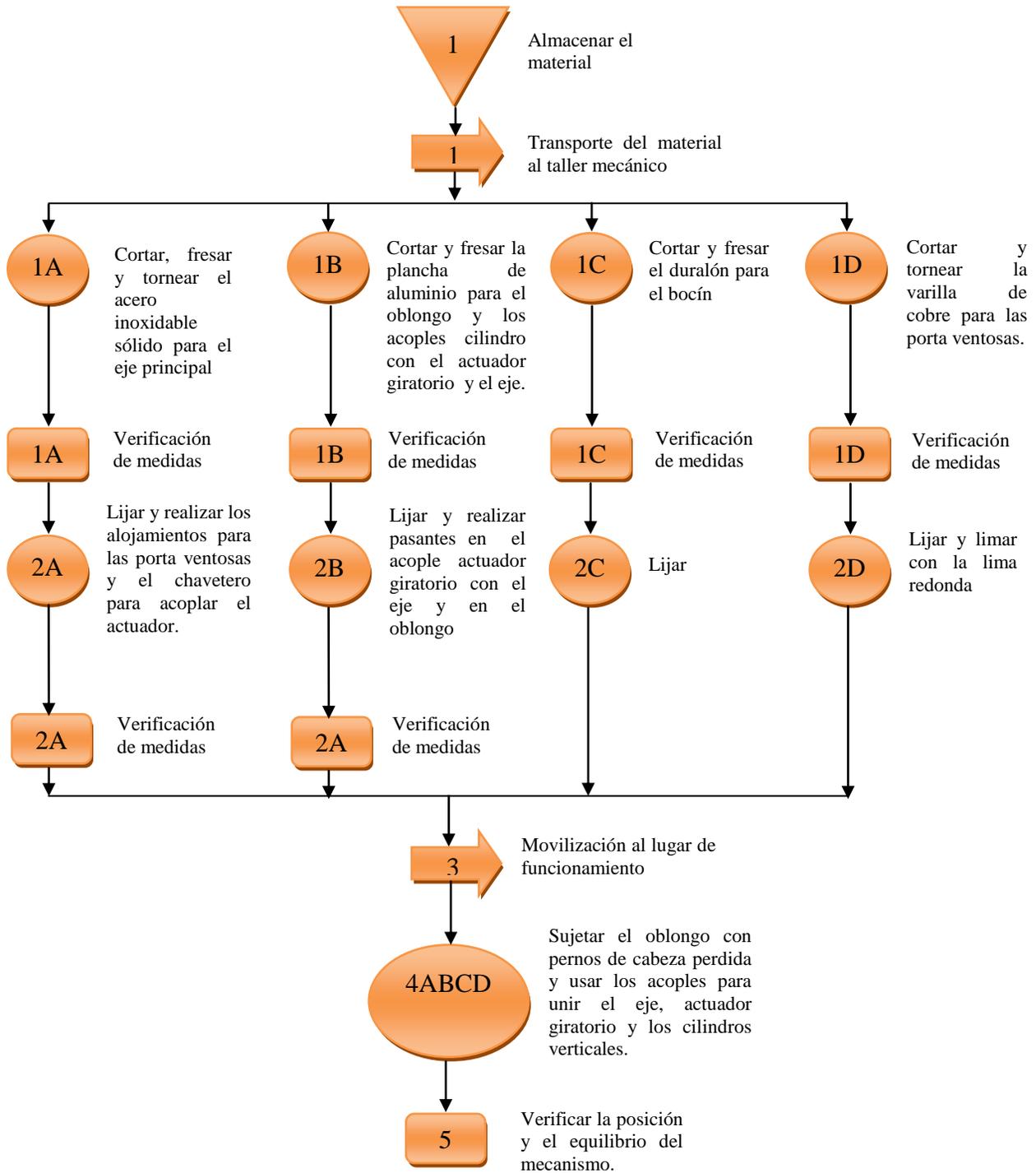


Figura 93: Diagrama de flujo del montaje del mecanismo giratorio

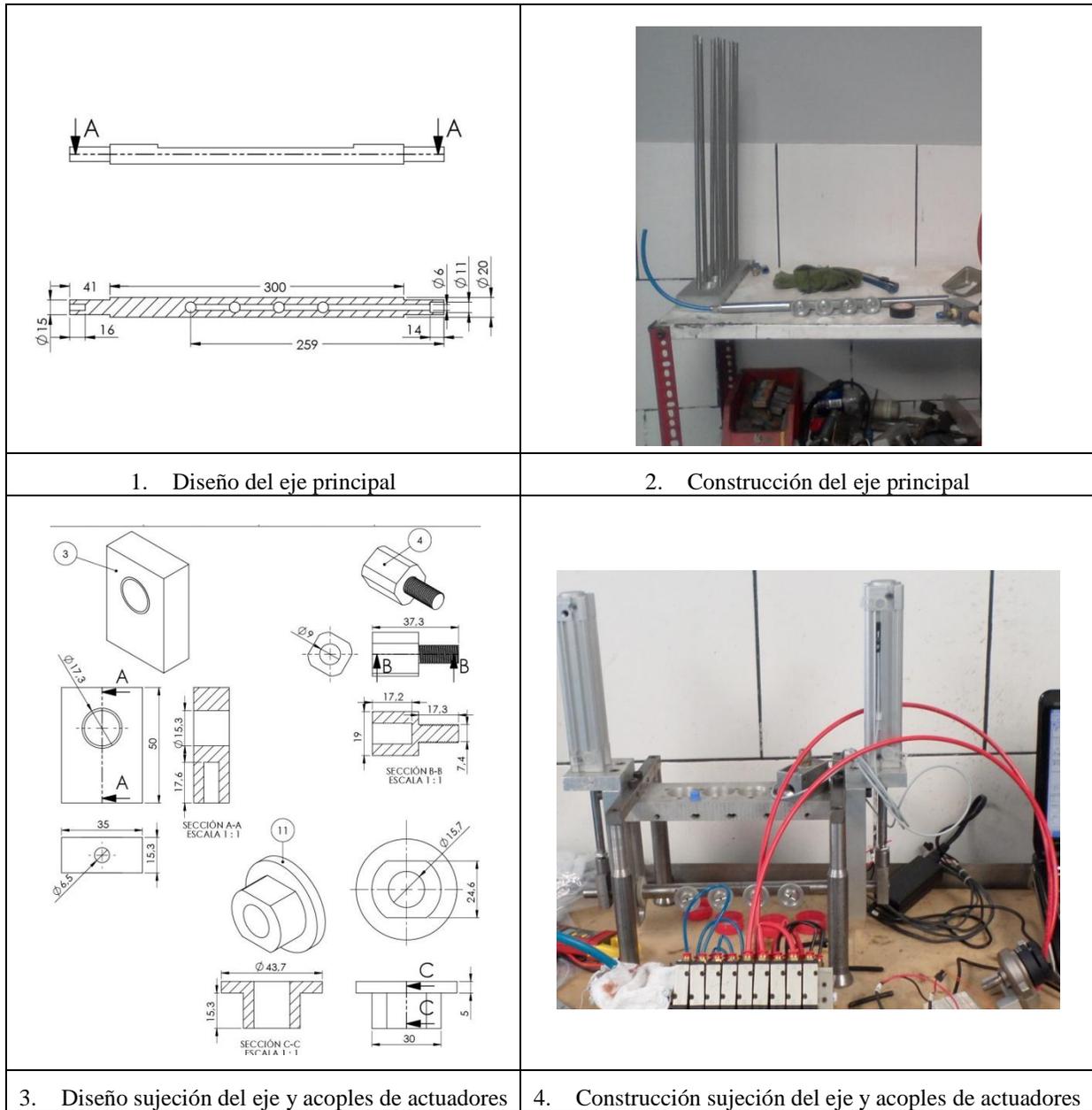


Figura 94: Montaje del mecanismo giratorio

4.5.2 MONTAJE NEUMÁTICO

El análisis del ensamblaje de elementos neumáticos se realiza de forma general de todo el sistema de inserción de liners. A continuación en la figura 95 se muestra el diagrama de flujo del montaje, y de la misma manera en las figura 96 y 97 se presenta la ensambladura de los cilindros verticales y el actuador giratorio respectivamente.

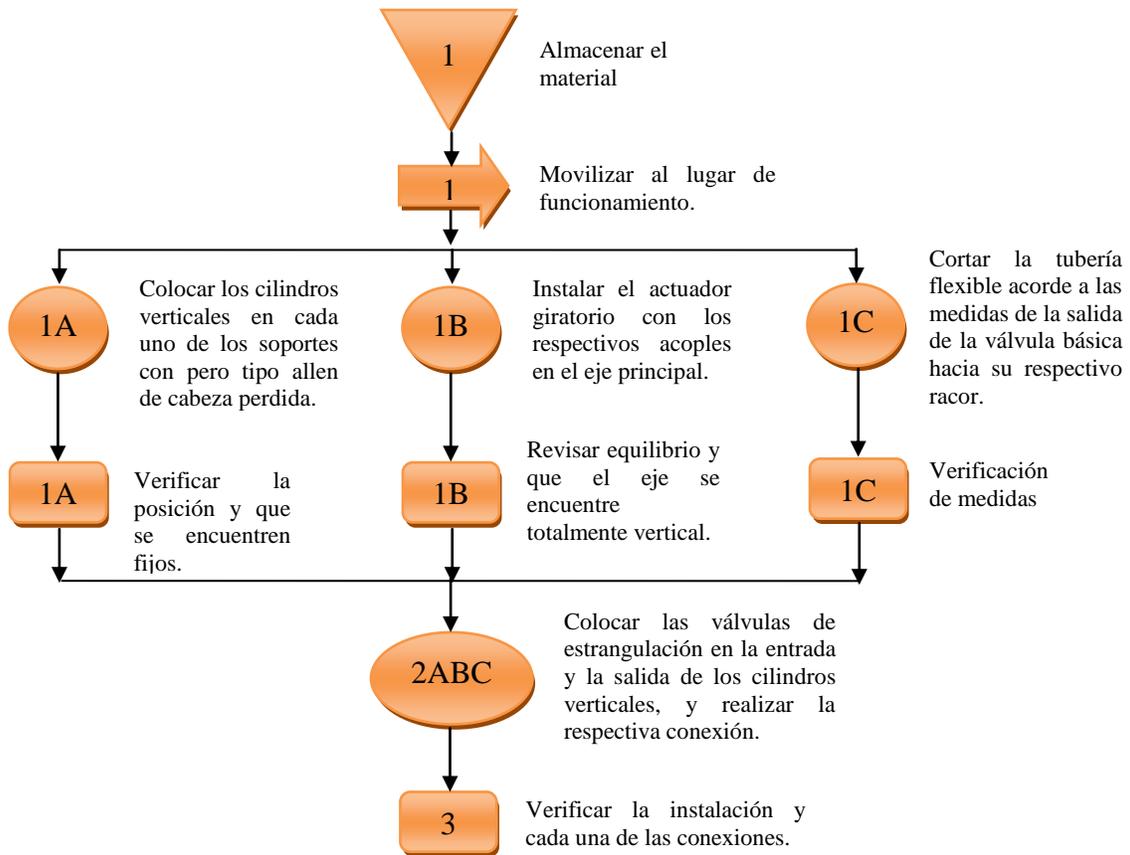


Figura 95: Montaje de elementos neumáticos de la inserción de liners

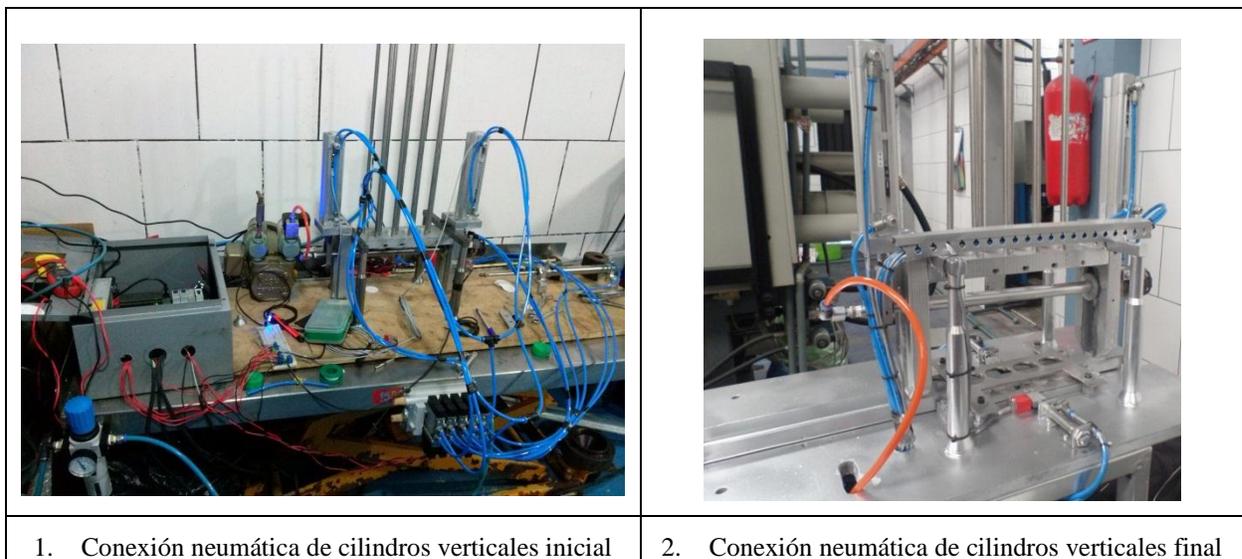


Figura 96: Instalación de los cilindros verticales

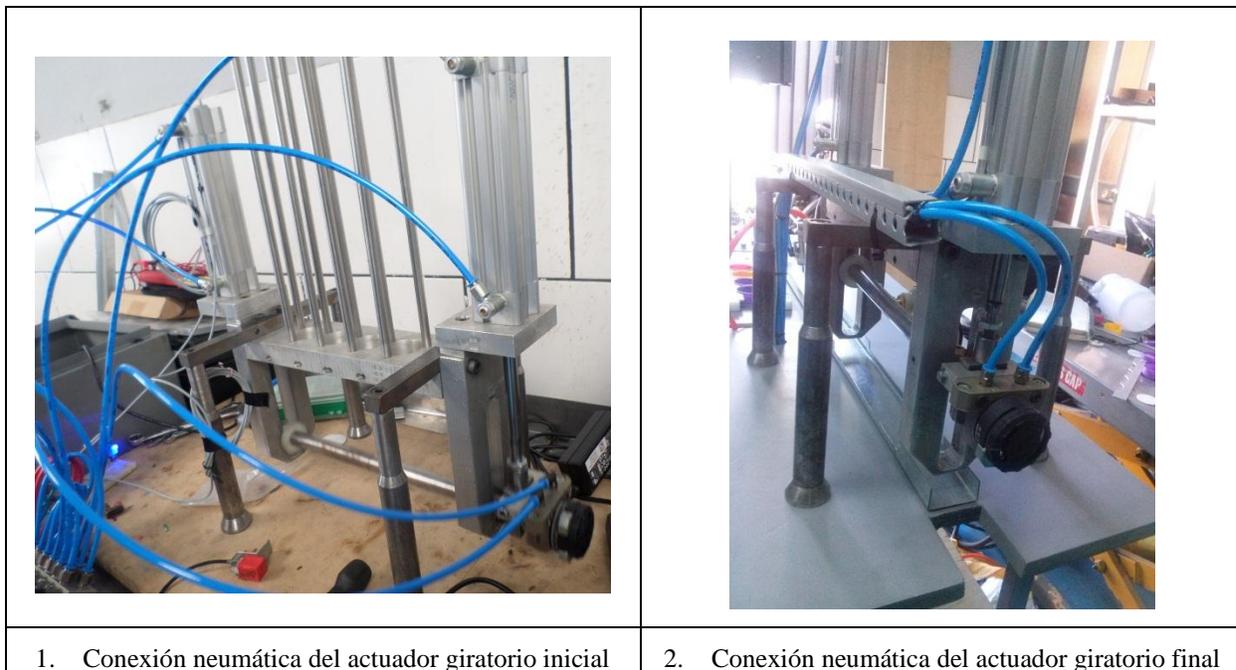


Figura 97: Instalación del actuador giratorio

4.6 TABLERO DE CONTROL

El gabinete metálico sirve para tener un mejor acceso rápido a las alarmas visuales y a los elementos de control de la máquina, además permite ordenar el cableado de los elementos utilizados en el proyecto.

El panel principal está en un lugar de fácil acceso, para la mejor manipulación y control por parte del operador.

No está demás realizar una recomendación muy importante el cual es que ningún operador o técnico puede abrir peor aún manipular o cambiar el circuito sin previa capacitación y autorización del gerente de la fábrica.

El tablero está localizado sobre la mesa de trabajo, por razón las medidas más recomendables para el espacio físico a utilizarse son 300×400×200[mm] las mismas que se muestran en la figura 98.

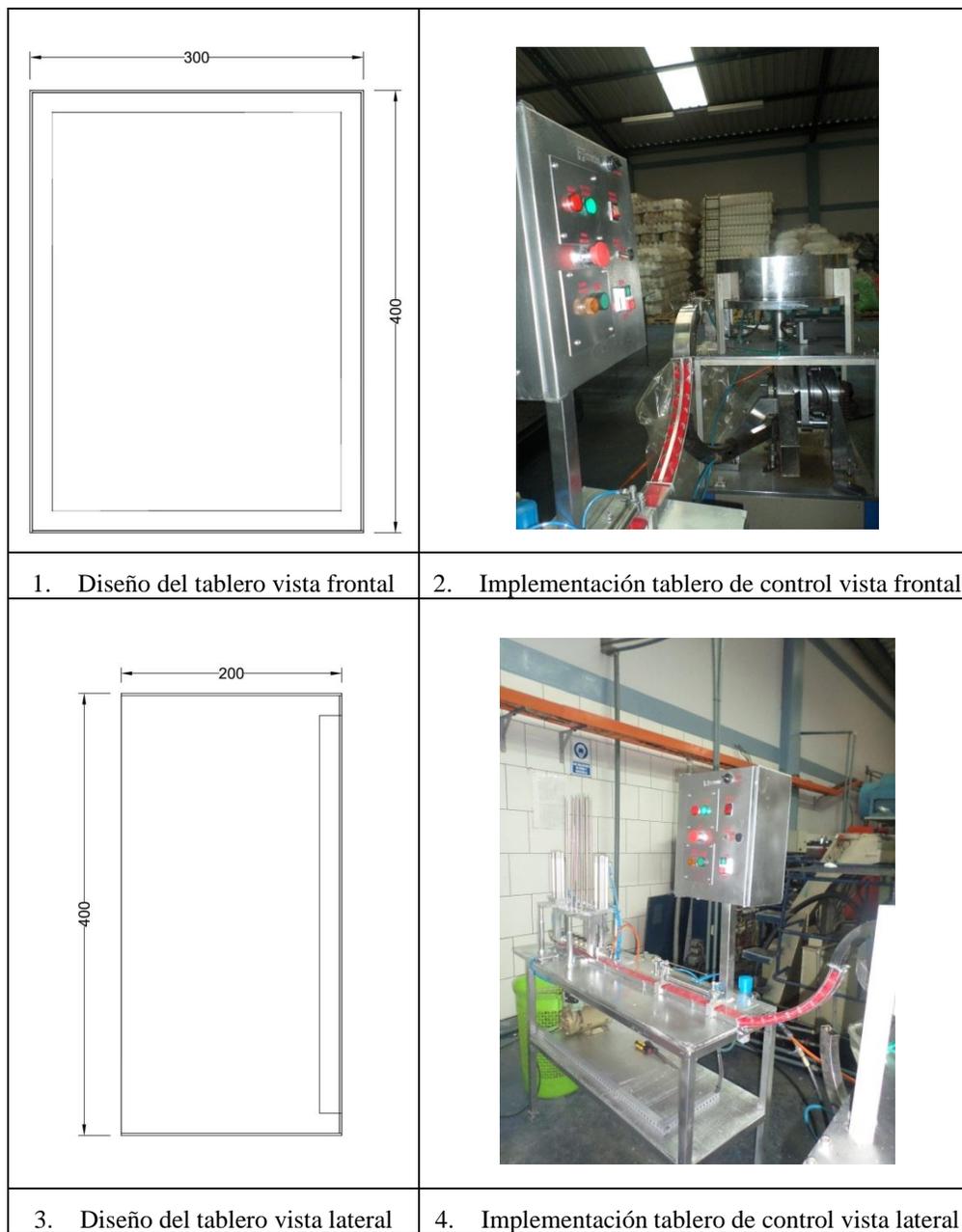


Figura 98: Diseño del tablero de control

En la figura 99 se muestra la parte interna del gabinete de control con sus elementos de intervención, la misma que para la facilidad del usuario cada uno de los elementos y el cableado en general se encuentran etiquetados y enumerados.

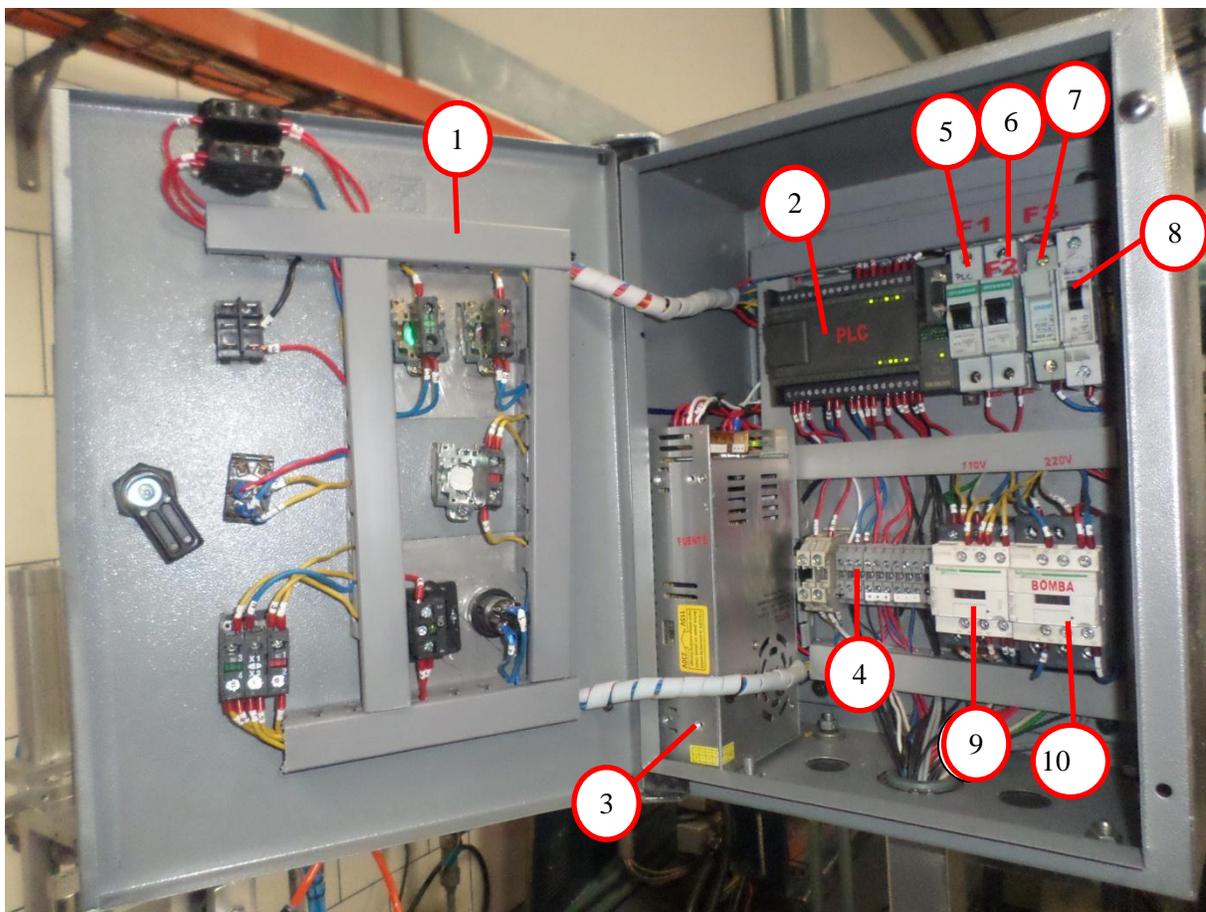


Figura 99: Vista interna del tablero de control

1. Canaletas
2. PLC S7-200 CPU 224
3. Fuente 24VDC
4. Borneras
5. Breaker de protección PLC 110[V]
6. Breaker de protección fuente 110[V]
7. Fusible PLC 24[V]
8. Breaker de protección bomba 110[V]
9. Contactor de encendido y apagado 110[V]
10. Contactor 220[V] de la bomba

La parte externa del gabinete de control se encuentra instalado las luces piloto, el paro de emergencia, el botón de paro/arranque y el selector de alimentación/enlainer. A continuación lo especificado se muestra en la figura 100.

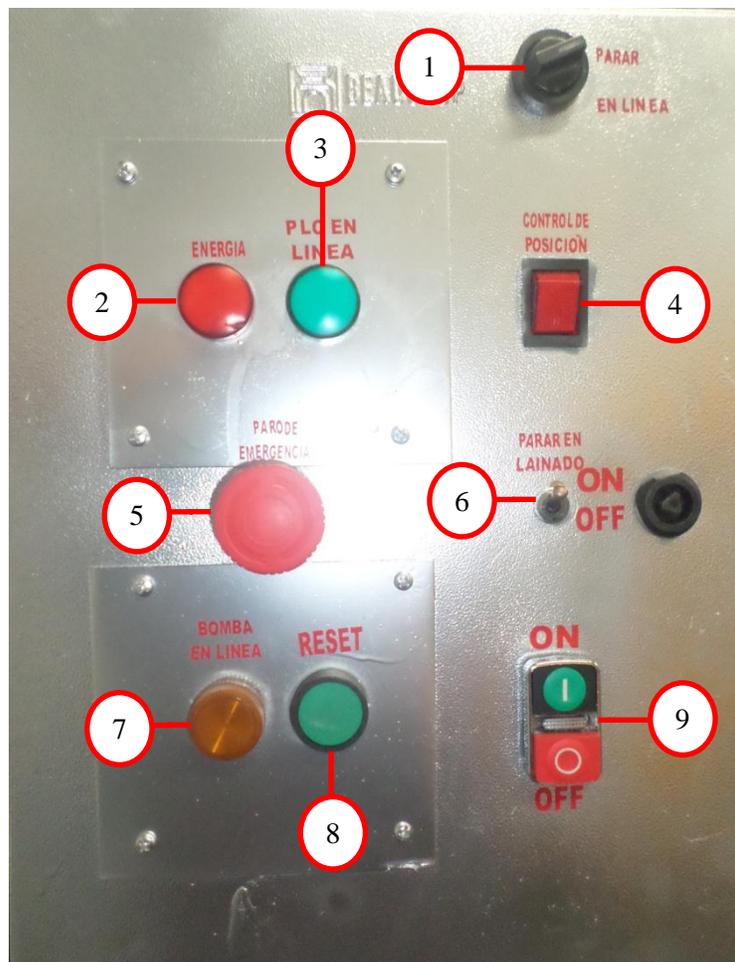


Figura 100: Vista externa del tablero de control

Dónde:

1. Selector de alimentación e inserción de liner
2. Indicador de presencia de energía
3. Indica que el PLC está en línea.
4. Control manual de posición de tapas
5. Botón de paro de emergencia

6. Switch paro del proceso
7. Indicador de bomba en funcionamiento
8. Pulsador de rearmado general
9. Arranque y paro del sistema

4.7 PROGRAMACIÓN EN EL PLC

Todo proceso automático inicia en la programación del elemento autómatas, en la figura 101 se observa el esquema general a seguir para programar, simular, realizar pruebas tanto offline como online y la documentación necesaria se lo realiza de forma digital o física.

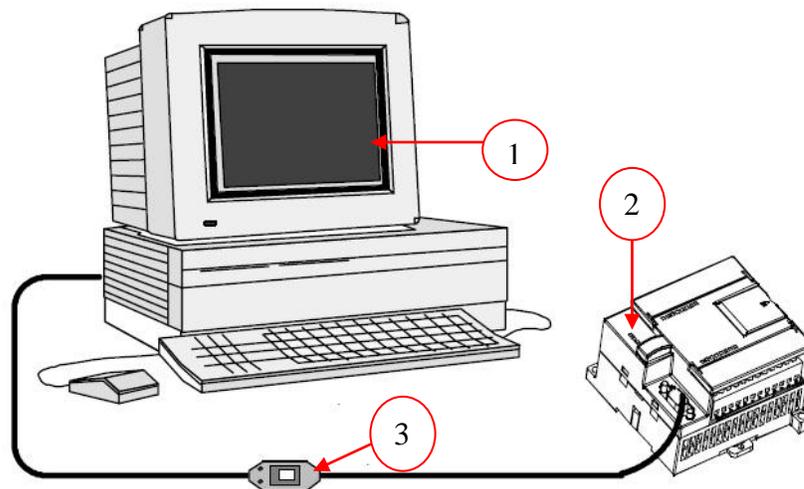


Figura 101: Esquema de programación del PLC S7-200 (SIEMENS, 2008)

Dónde:

1. PC Programador.
2. PLC S7-200 CPU 224.
3. Cable multía Maestro RS-232/PPI.

Al momento de programar es muy importante la precisión, ya que en los procesos industriales es transcendental tomar en cuenta hasta el más mínimo mili segundo, de lo contrario se podría ocasionar un accidente laboral, así como cuantiosas pérdidas materiales, en los dos casos anteriores las consecuencias son fatales tanto para el trabajador como para el empleador.

Mediante un previo análisis del software implementado, al proyecto se lo ha dividido en los siguientes subprocesos que dependen de las principales facetas del sistema de una forma secuencial las mismas que son:

- Subproceso 1: Inicio del sistema
- Subproceso 2: Traslación de tapas
- Subproceso 4: Posicionamiento de tapas
- Subproceso 5: Inicio del ciclo de enlainado
- Subproceso 6: Finalización y enfundado de tapas

El ciclo inicia después de cumplir con las especificaciones anteriores, el operador es el encargado de ejecutar y tomar la decisión respectiva para realizar trabajos de enlainado en la máquina implementada.

Antes de iniciar el proceso de enlainado y arrancar la máquina es recomendable que el operador verifique los siguientes aspectos.

- Fuentes de alimentación como: Presión del aire comprimido 85-100[PSI], Voltaje necesario 24[V] en corriente continua, 110 y 220[V] en alterna.
- Las características específicas de las tapas a enlainar 40×17[mm] tipo rosca.
- Existencia de algún cuerpo extraño en el sistema.

A continuación se realiza el análisis minucioso del software desarrollado en el proyecto, basado en los subprocesos indicados con anterioridad.

4.7.1 ARRANQUE DEL SISTEMA

Para dar inicio al sistema se realiza un enclavamiento a la alimentación principal del proyecto, a través de dos pulsadores con su respectiva bobina y contactor, las mismas que energizan y desenergizan la parte de control y de fuerza, cabe recalcar que esta última únicamente aplica en la bomba de vacío.

Cuando el sistema se encuentra apagado se encenderá la luz piloto roja y al iniciar el sistema se encenderá la luz piloto verde, estas luces se encuentran instaladas en el gabinete de control. (Véase figura 100).

A la vez se tiene un switch la misma que detiene al sistema sin desenergizar totalmente, a este se le llama switch de pausa, ya que al activarlo nuevamente continua el ciclo de trabajo en el estado anterior.

Al sistema de control se activa o desactiva mediante una entrada digital del sistema, mientras al sistema de fuerza a través de un contactor externo.

En la figura 102 se muestra el diagrama de flujo del arranque o encendido general del sistema de inserción de liners

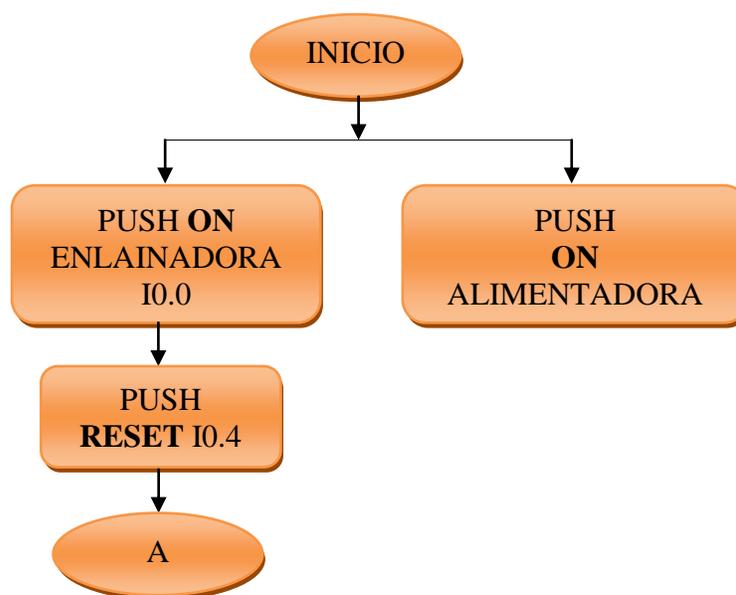


Figura 102: Diagrama de flujo de arranque de sistema

El sistema general de enlainado y la alimentadora de tapas son independientes, debido a esto para dar inicio el proceso de inserción de liner se debe arrancar los dos equipos por separado, cabe recalcar que la fuente para la alimentadora de tapas es a 220[V] y para el equipo a 110[V] a excepción de la bomba de vacío que funciona con el mismo voltaje de la alimentadora.

Cabe mencionar antes de realizar el arranque de la máquina se debe verificar el stock suficiente tanto tapas como de liner, además el paro de emergencia de la enlainadora y de la alimentadora deben estar desactivados.

4.7.2 ALIMENTAR Y ENLAINAR TAPAS

Al realizar el respectivo arranque de los equipos de producción enlainadora y alimentadora, en el tablero se tiene un selector de dos posiciones el cual en la primera opción alimenta tapas y luego al cambiar de posición inicia el ciclo de enlainado de tapas. En la figura 103 se muestra el respectivo diagrama de flujo.

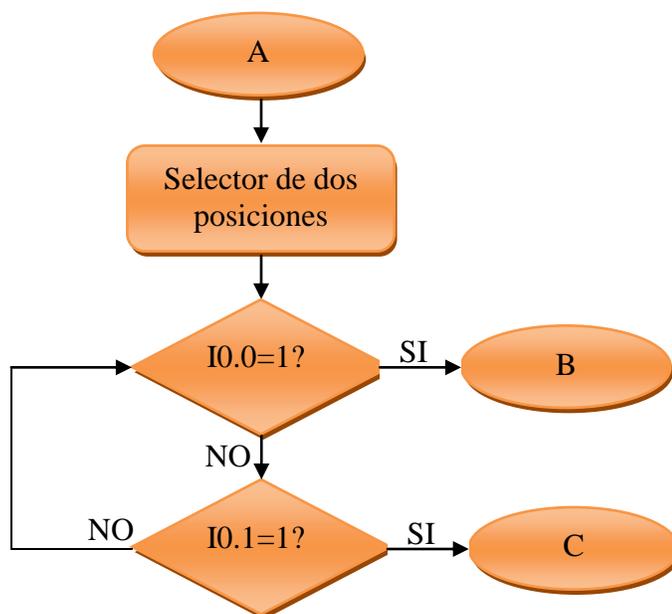


Figura 103: Diagrama de flujo del selector de trabajo

4.7.2.1 Proceso de alimentación de tapas

El proceso de inserción de liner inicia con el selector en la posición 1, este cambia la entrada digital I0.0 a uno lógico, el cual inicia el ciclo mostrado en el diagrama de flujo de la figura 104 alimentando las tapas de forma constante hasta que el operador crea conveniente cambiar la posición del selector. Las marcas de entradas y salidas del PLC se encuentran detalladas en las tablas 27 y 28 de la sección 3.3.2.

En la figura 104 se muestra el diagrama de flujo del proceso de la alimentación de tapas en toda la pista vertical, con esto se garantiza que el proceso de enlainado sea uniforme y constante desde el inicio del ciclo, el mismo que se obtiene al cambiar la posición del selector localizado en el panel de control.

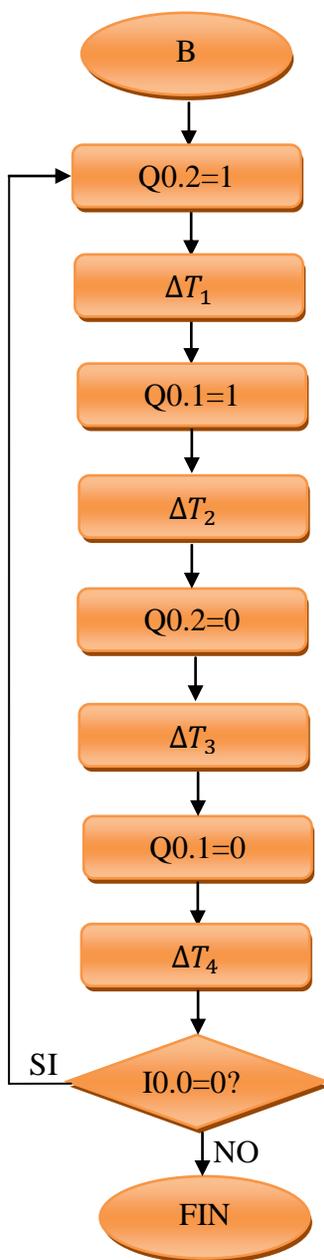


Figura 104: Diagrama de flujo de la alimentación de tapas

Dónde:

- ΔT_1 : Variación del tiempo para activar el cilindro de translación.
- ΔT_2 : Variación del tiempo para desactivar el cilindro toma tapas.
- ΔT_3 : Variación del tiempo para desactivar el cilindro de translación.
- ΔT_4 : Variación del tiempo para retornar el ciclo.

4.7.2.2 Inserción de liners

Al terminar la alimentación de tapas a la pista vertical, el operador tiene la facultad de elegir el momento exacto en el cual es preciso efectuar el cambio de posición al selector, con esto se activa la entrada I0.1 cambiando a uno lógico e iniciando los subproceso controlados que se muestran a continuación.

a. Traslación de tapas

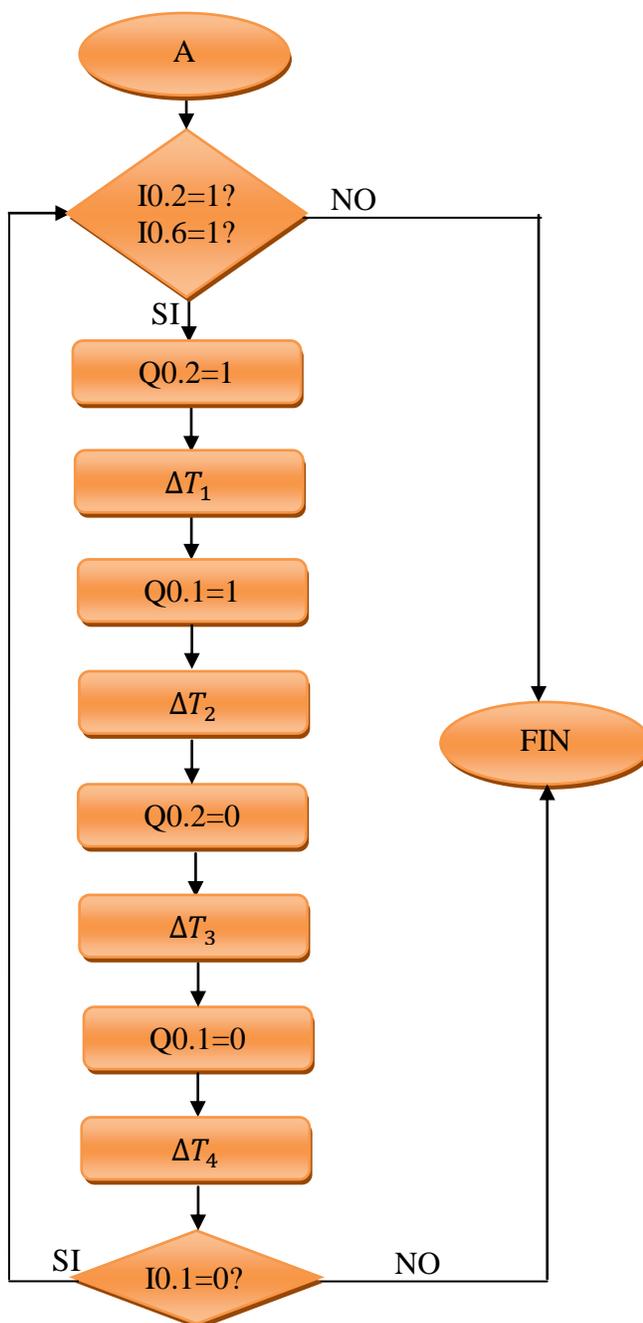


Figura 105: Diagrama de flujo de la traslación automática de tapas

En la figura 105 se puede apreciar que al iniciar el proceso de enlaidado el factor principal que incide en el funcionamiento es el sensor inductivo que se instala en los cilindros verticales, el cual detecta que el embolo este en la parte superior indicando que el vástago esta extraído.

Las variables que intervienen en este apartado son las mismas que se usan en el apartado 4.7.2.1, la diferencia es que este es un control de lazo cerrado, debido a que además de estar controlada por el selector de posición depende de la posición del embolo de los cilindros verticales y la posición de las garras de posicionamiento.

b. Posicionamiento de tapas

En la figura 106 se muestra el diagrama de flujo de la programación del subsistema de posición.

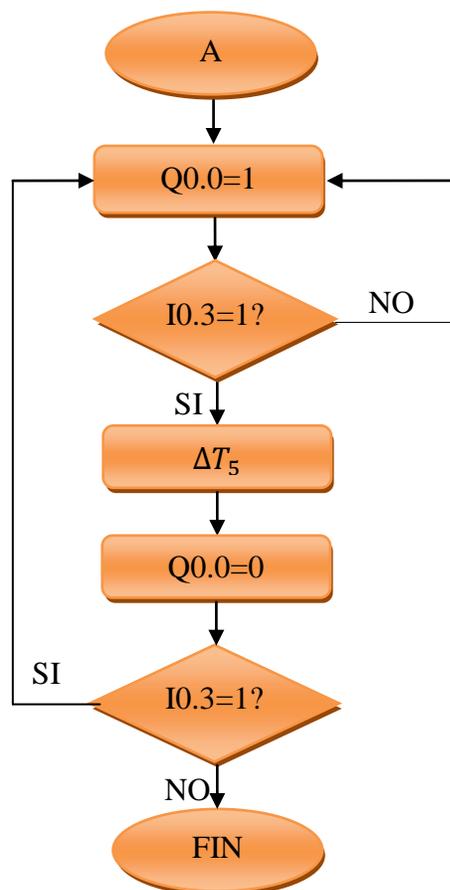


Figura 106: Diagrama de flujo del posicionamiento de tapas

Dónde:

- ΔT_5 : Variación del tiempo para desactivar los cilindros de posición.

El subsistema de posicionamiento de tapas físicamente consiste en posicionar las cuatro tapas en tal forma que los liners se coloquen con precisión, este sistema está dotado por dos cilindros con características similares, acopladas a elementos mecánicos que facilitan el trabajo.

En este subsistema se instala el sensor de falla (I0.6) el cual cambia de estado habilitando el funcionamiento del sistema general, este elemento está ubicado en la entrada y salida de las garras de posición. La salida en el PLC (Q0.0) para los dos cilindros de posición es una sola (conexión neumática con T) debido a que las dos realizan el trabajo en el mismo tiempo, estos dos solo se desactivan (vástagos contraídos) cuando el embolo de los cilindros verticales este de la misma forma contraído con el objetivo que el sistema transportador coloque nuevas tapas en el lugar de la inserción de liners, y con esto empezando el proceso cíclico.

c. Inserción de liners

En este subsistema se encuentran los dos cilindros verticales para subir y bajar el eje, el cual acoplada por medio de una chaveta al actuador giratorio.

La activación y desactivación de la válvula 5/2 de control de estado de los cilindros verticales internamente en PLC están configurados con dos temporizadores on delay y off delay, al momento de recibir la señal de enlainado mediante un selector externo localizado en el tablero se activa la electroválvula y los vástagos se extienden, después de un determinado tiempo de configuración se desactivan (vástagos contraídos).

El subsistema se representa en dos diagramas de flujo para la mejor comprensión del lector, en la figura 107 se muestra el diagrama de flujo para los cilindros verticales y en la figura 108 para el actuador giratorio.

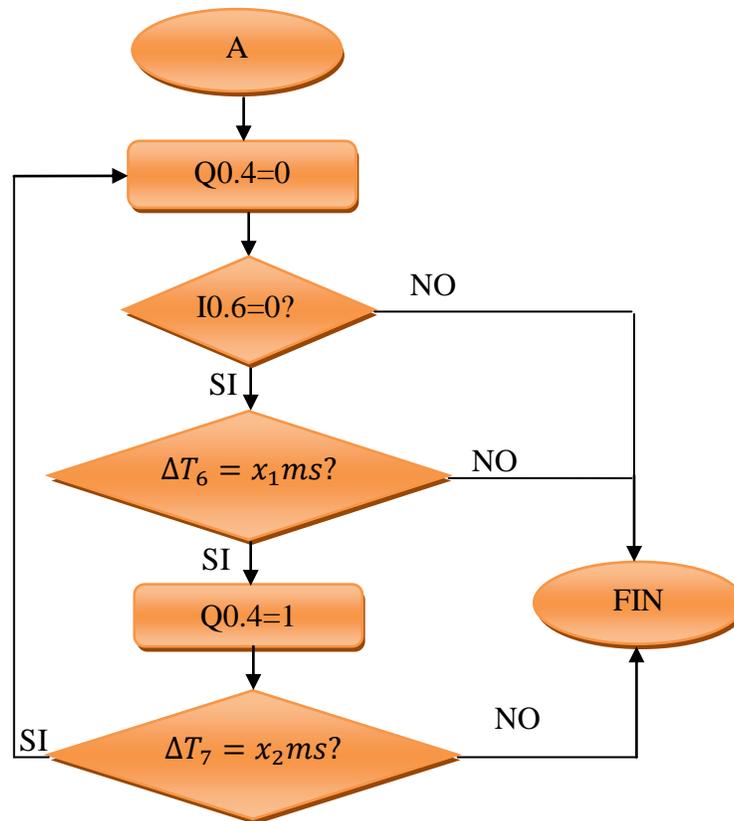


Figura 107: Diagrama de flujo para los cilindros verticales.

Dónde:

- ΔT_6 : Variación del tiempo para activar los cilindros verticales.
- ΔT_7 : Variación del tiempo para desactivar los cilindros verticales.
- x_1, x_2 : Tiempos de retardo a la conexión y desconexión respectivamente.

Nota: Los tiempos de retardo dependen de la configuración del usuario.

El actuador giratorio tiene el inicio en 180° (porta ventosas dirigidas hacia arriba), después de un determinado tiempo de configuración el mismo de los cilindros verticales sumado un mínimo tiempo el cual permite que tome de forma correcta los liner retorna a su posición inicial 0° (porta ventosas dirigidas hacia abajo), luego para activarse nuevamente (girar 180°) el actuador espera de la misma manera un retardo mínimo en mili segundos, este tiempo es con

el objetivo de no dañar el subsistema de posición y las tapas que se encuentran listas a ser enlainadas.

En la figura 108 se muestra el diagrama de flujo para el actuador giratorio.

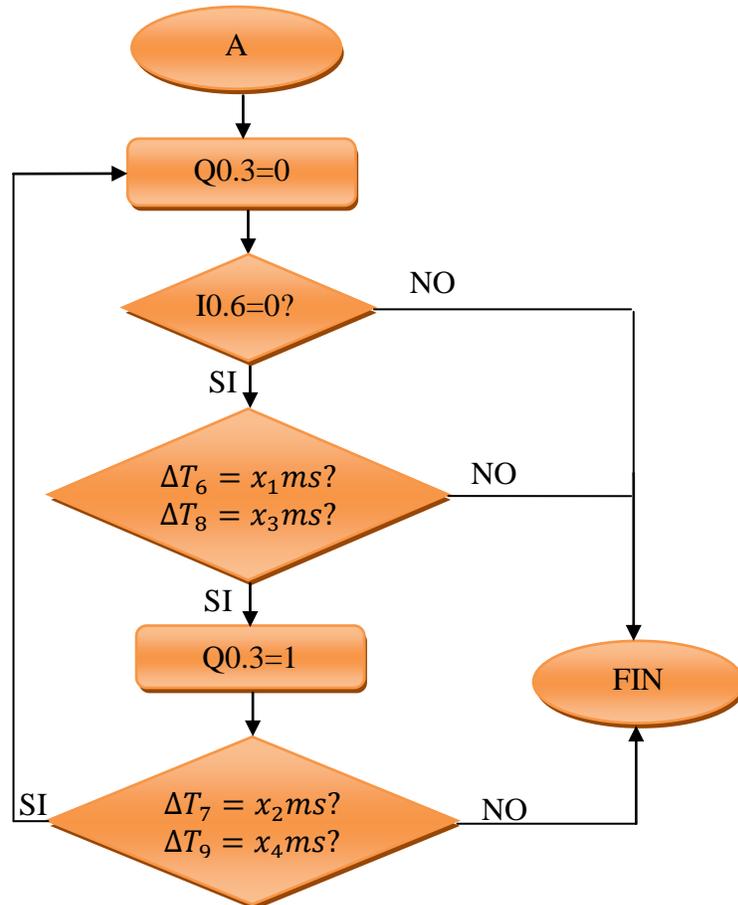


Figura 108: Diagrama de flujo para el actuador giratorio.

Dónde:

- ΔT_8 : Variación del tiempo para girar 180° el actuador giratorio.
- ΔT_9 : Variación del tiempo para girar 0° el actuador giratorio.
- x_8, x_9 : Tiempos de retardo a la conexión para tomar e insertar el liner.

En el sistema de análisis además de los mecanismos expuestos anteriormente, las mismas que intervienen en el movimiento del eje tanto en la rotación como en la traslación, se tiene el

sistema de vacío la misma que proviene de la bomba especificada en el capítulo tres del apartado 3.3.2.2.

El trabajo del vacío es tomar los liners que se encuentran suspendidas en la porta liner apiladas adecuadamente y luego colocar en las cuatro tapas que fueron trasladadas y posicionadas previamente, para realizar este trabajo es necesario colocar dos sensores las mismas que envíen una señal el cual indique que las ventosas están por llegar al porta liner y que las ventosas están por llegar a las tapas.

Además de la válvula 2/2 para el control de vacío se tiene otra con las mismas características la cual hace de alivio al calentamiento de la bomba por obstrucción del paso de aire del aire de refrigeración.

En la figura 109 se muestra el diagrama de flujo para el control de vacío.

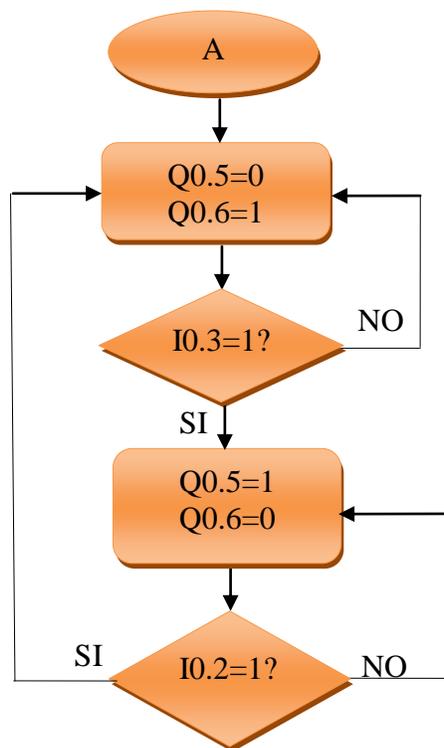


Figura 109: Diagrama de flujo del control de vacío

d. Finalización del ciclo

Para dar por finalizado el enlainado de tapas, el operador debe tener las fundas necesarias para el almacenamiento, la misma que se hace en los pallets y así tener en stock manteniendo la calidad del producto. (Véase la figura 110)

Para interrumpir el sistema en caso de emergencia, esto puede ser por atascamiento o atrapamiento o algún desperfecto, en el panel principal se encuentra el paro de emergencia tipo hongo el mismo que des energiza y detiene la producción en cualquier instante del tiempo. Al terminar de corregir el defecto es necesario resetear el sistema por el botón (reset) localizado en el mismo tablero.

Para realizar la lubricación previo al arranque o por programación de mantenimiento, el técnico encargado debe bloquear y apagar todas las posibles fuentes de alimentación (eléctrica y neumática), esto es para evitar accidentes por efecto de arranque o alimentación inesperada provocando error del sistema.



Figura 110: Almacenamiento de las tapas enlainadas

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DEL GENERAL DEL SISTEMA

5 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO

Para realizar las pruebas del sistema completo se une el alimentador de tapas, el canal deslizante, el gabinete de control, los mecanismos de la traslación de tapas e inserción de los liners en las cuatro tapas.

En este apartado se realiza el análisis de funcionamiento, el cual consiste en problemas presentados en el transcurso del ensamblaje y la calibración, además se realiza un estudio del costo y beneficio que conlleva el proyecto.

5.1 PROBLEMAS Y CALIBRACIÓN

En esta etapa se realiza la regulación de la velocidad de los actuadores como: cilindros verticales, cilindros de traslación, y los el de posicionamiento, las mismas que se las regula a través de las válvulas de estrangulación instaladas dependiendo de la aplicación. En los cilindros verticales también se regula la amortiguación del final de carrera tanto en la subida como en la bajada, con la finalidad de tener equilibrio en el sistema y no movimientos no programados.

En el montaje y sus respectivas pruebas, los inconvenientes generales presentados son; el tiempo de activación del actuador giratorio, decaimiento del vacío, velocidad de traslación de tapas, alimentación sin sincronismo, atascamiento de tapas, etc.

Caber recalcar que los problemas mencionados anteriormente no son los únicos, se presentaron muchos más, los mismos que se resuelve de una forma lógica y coherente según como se presente y la experiencia del técnico.

Se procede a realizar el análisis de los problemas y soluciones que probablemente se presenten en cada uno de los subsistemas al momento de estar enlainando tapas, cada uno de estos son propias de la experiencia del trabajo en la línea de producción. Para la resolución del mismo el técnico involucrado debe ser previamente capacitado o tener la experiencia suficiente en los procesos industriales.

A continuación en la figura 111 se muestra las posibles soluciones a los problemas que se presentan en la alimentación de tapas.



Figura 111: Soluciones a los problemas de alimentación de tapas

A parte de los problemas mencionados en la figura 111, el operador de turno debe estar pendiente de que no se terminen las tapas en la tolva, ya que ocasiona falla de la alimentadora centrífuga, además la regulación del aire de cada uno de los sopladores debe estar calibrado correctamente para la correcta alimentación y el perfecto desalojo de tapas en mala posición.

En la figura 112 se muestra los problemas y las soluciones en el mecanismo de la traslación de las tapas.

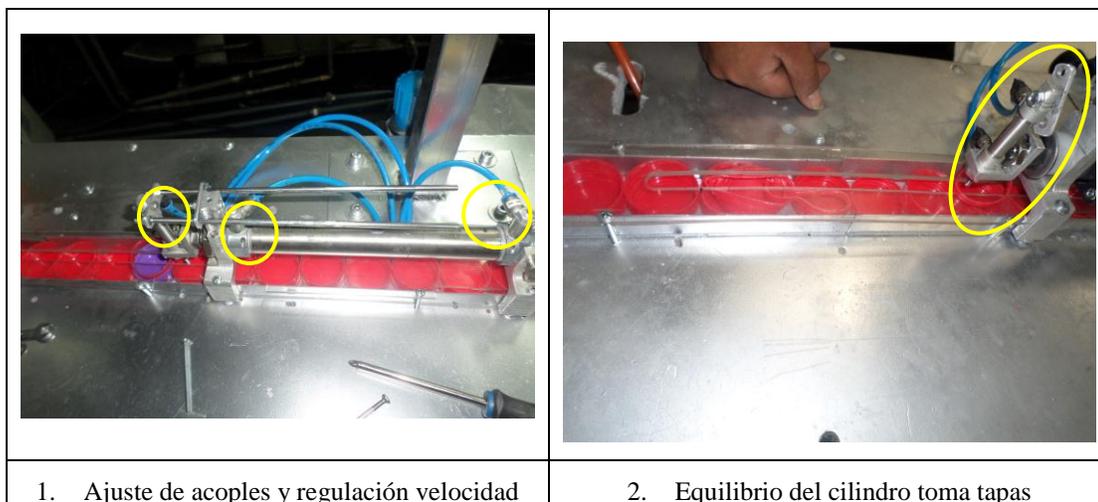


Figura 112: Soluciones a los problemas de traslación de tapas

En la figura 113 se muestra soluciones a los problemas de posicionamiento.

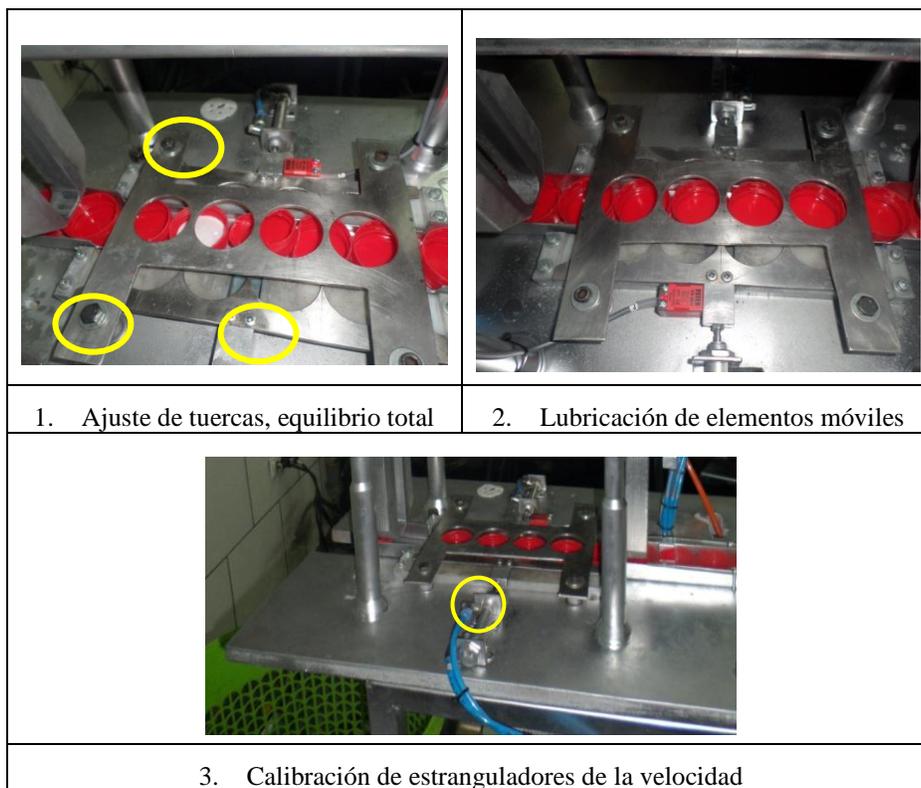


Figura 113: Soluciones a los problemas de posicionamiento

Los principales problemas y soluciones que se presentan en la inserción de liners se muestran en la figura 114.

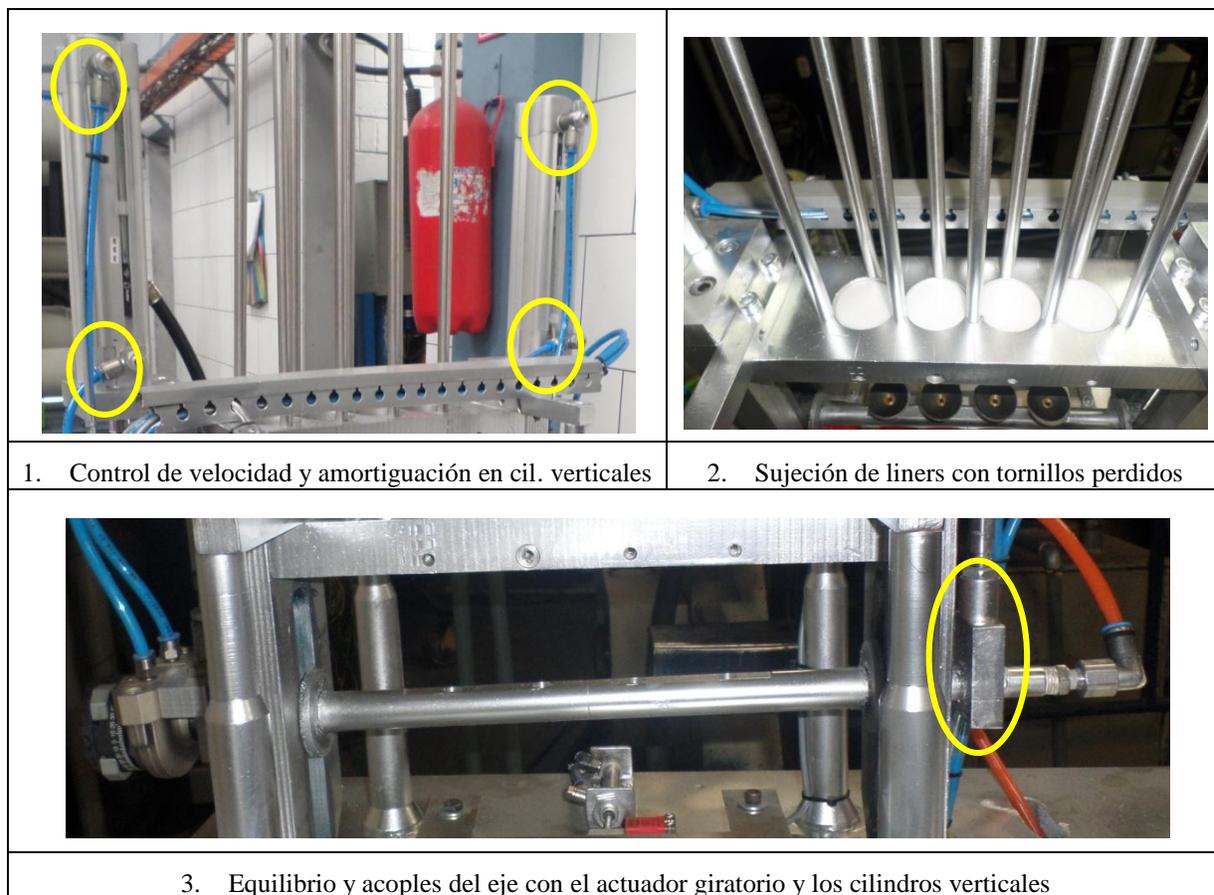


Figura 114: Soluciones a problemas de inserción de liners

Las soluciones que se especificaron anteriormente no son todas, existen otros tipos como: calibración, instrumentación y cambio de elementos mecánicos, neumáticos y eléctricos; es recomendable que el técnico encargado domine las áreas mencionadas correctamente.

5.2 PRUEBAS DE LA ALIMENTACIÓN DE TAPAS

Para obtener los resultados estimados de la alimentación de tapas se procede a realizar 20 pruebas con 100 tapas depositadas en la tolva, las tapas correctas son las que pasan boca arriba por el elemento mostrado en la figura 23 de la sección 2.2.1.1, y las incorrectas son las que

pasan de forma inversa (boca abajo). A continuación en la tabla 30 se muestra el análisis de las pruebas de alimentación realizadas.

Tabla 30: Datos de alimentación de la tolva

| PRUEBAS | TOTAL TAPAS | TAPAS DIRECCIONADAS | TAPAS AL RE TRABAJO |
|----------------|--------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 100 | 85 | 15 |
| 2 | 100 | 71 | 29 |
| 3 | 100 | 87 | 13 |
| 4 | 100 | 72 | 28 |
| 5 | 100 | 69 | 31 |
| 6 | 100 | 82 | 18 |
| 7 | 100 | 87 | 13 |
| 8 | 100 | 77 | 23 |
| 9 | 100 | 82 | 18 |
| 10 | 100 | 80 | 20 |
| 11 | 100 | 79 | 21 |
| 12 | 100 | 77 | 23 |
| 13 | 100 | 78 | 22 |
| 14 | 100 | 85 | 15 |
| 15 | 100 | 85 | 15 |
| 16 | 100 | 84 | 16 |
| 17 | 100 | 69 | 31 |
| 18 | 100 | 75 | 25 |
| 19 | 100 | 79 | 21 |
| 20 | 100 | 80 | 20 |
| Total | 2000 | 1583 | 417 |
| Media | 100 | 79,15 | 20,85 |

Según la tabla 30, se puede verificar que si se coloca 100 tapas en la tolva de la alimentación centrífuga se tiene aproximadamente un promedio de 20 que se van al re trabajo, la misma que después de 5 dotaciones que equivale a 100 tapas, al momento de tener las cantidad especificada se tiene que tomar las tapas de la funda del re trabajo y colocarlas en la tolva de alimentación, con estas especificaciones se demuestra que no es posible que exista ausencia de tapas en la pista vertical. El operador debe encontrarse de manera constante al frente de la máquina debido a que la dotación de las tapas en la tolva es completamente manual.

Cabe recalcar que si la velocidad de la alimentadora centrífuga supera a la velocidad del enlainado, esta especificación no contrae ningún problema debido a que el cilindro toma tapas del mecanismo de traslación detiene y traslada simplemente las cuatro, dejando a las demás en espera de ser llevadas al posicionamiento de tapas.

En la figura 115 se observa las curvas, de las tapas alimentadas versus las tapas que se posicionan boca arriba la misma que está en un rango de 85-70, tomando el promedio son 80 tapas las cuales se dirigen hacia la inserción de liners.

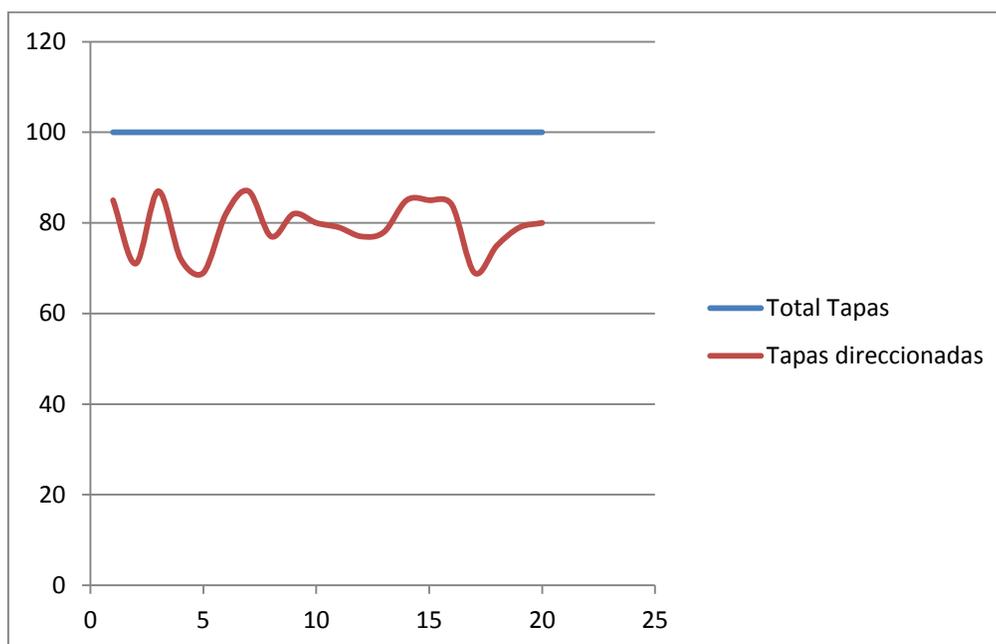


Figura 115: Diagrama de tapas alimentadas

5.3 PRUEBAS DE LA INSERCIÓN DE LINER

En este apartado se muestra las tapas que fueron alimentadas y las que no fueron enlainadas por distintas razones como: se inserta el liner de diferente forma a lo especificado (forma irregular), estropeo de las tapas por atascamiento, falla del sistema de vacío. Los problemas mostrados no suceden con frecuencia si no que se presentan en una forma aleatoria por estas u otras situaciones.

A continuación en las tablas 31, 32 y 33 se muestra la inspección de la inserción de liner y el error que presenta este sistema en un ciclo de enlainado.

Tabla 31: Datos 1 de tapas enlainadas

| CICLOS DE ENLAINADO | TOTAL TAPAS | TAPAS ENLAINADAS | TAPAS AL RE TRABAJO | ERROR 100% |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 2 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 3 | 4 | 3 | 1 | 25 |
| 4 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 5 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 6 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 7 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 8 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 9 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 10 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 11 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 12 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 13 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 14 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 15 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 16 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 17 | 4 | 0 | 4 | 100 |
| 18 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 19 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 20 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| Total | 80 | 75 | 5 | 125 |
| Media | 4 | 3,75 | 0,25 | 6,25 |

En la tabla 31, se tiene 80 tapas que pasan el mecanismo de desalojo de tapas por estar mal posicionadas, de las cuales 5 no logran el objetivo, las mismas que son direccionadas al re trabajo (devuelta a la tolva acomodadora de tapas), en la práctica la primera falla (fila 3) fue por el liner mal colocado (alzado) y la segunda (fila 17) fue debido a que una columna de liner quedó suspendida y esta fue la razón por el cual falla el sistema de vacío y no se colocan los liners en las tapas.

Las 5 tapas que no fueron enlainadas es posible enviarlas nuevamente hacia la tolva de alimentación debido a que no fueron estropeadas, para evitar los errores especificados es

fundamental que el operador apile los liner de forma constante y coloque su respectiva pesa en cada columna.

En la tabla 32 se especifica el análisis 2 de la inserción de liners.

Tabla 32: Datos 2 de tapas enlainadas

| CICLOS DE ENLAINADO | TOTAL TAPAS | TAPAS ENLAINADAS | TAPAS AL RE TRABAJO | ERROR 100% |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 2 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 3 | 4 | 3 | 1 | 25 |
| 4 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 5 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 6 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 7 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 8 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 9 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 10 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 11 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 12 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 13 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 14 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 15 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 16 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 17 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 18 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 19 | 4 | 3 | 1 | 25 |
| 20 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| Total | 80 | 78 | 2 | 50 |
| Media | 4 | 3,9 | 0,1 | 2,5 |

En la tabla 32, se tiene 80 tapas que pasan el mecanismo de desalajo, de las cuales 2 no logran el objetivo, las mismas que son direccionadas al re trabajo, en la práctica la primera falla (fila 3) por mal posicionamiento (alzado) y la segunda (fila 19) debido a que se terminan las tapas en la tolva de alimentación.

La una tapa que no fue enlainada (solo una porque la otra no llego a la última posición) es posible enviarla nuevamente hacia la tolva de alimentación debido a que no fue estropeada, para evitar los errores especificados es fundamental que exista una alimentación constante de tapas en la tolva por parte del operador.

Previo a realizar el análisis de los resultados se presenta el muestreo de la inserción de liners en la tabla 33.

Tabla 33: Datos 3 de tapas enlainadas

| CICLOS DE ENLAINADO | TOTAL TAPAS | TAPAS ENLAINADAS | TAPAS AL RE TRABAJO | ERROR 100% |
|----------------------------|--------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 2 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 3 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 4 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 5 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 6 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 7 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 8 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 9 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 10 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 11 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 12 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 13 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 14 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 15 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 16 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 17 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 18 | 4 | 3 | 1 | 25 |
| 19 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| 20 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| Total | 80 | 79 | 1 | 25 |
| Media | 4 | 3,95 | 0,05 | 1,25 |

En la tabla 33, se tiene 80 tapas tomadas desde la pista de enlainado de las cuales 1 no logran el objetivo, en la práctica la falla (fila 18) se da por el atascamiento en el acople de la pista vertical y el elemento deslizando.

Para esta tapa no es necesario el re trabajo debido a que el operador simplemente debe pasar el elemento de forma manual hacia la pista vertical, para evitar este tipo de errores es fundamental que antes de terminar las tapas ubicadas sobre la pista vertical verificar aguas arriba si se encuentran de forma uniforme la pista deslizando.

5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de realizar las pruebas y obtener la valoración de las mismas, se presenta el análisis de los resultados en la tabla 34 que se muestra a continuación.

Tabla 34: *Análisis de las tapas enlainadas*

| ANÁLISIS | TAPAS ENLAINADAS | TAPAS AL RE TRABAJO |
|--------------|------------------|---------------------|
| 1 | 75 | 5 |
| 2 | 78 | 2 |
| 3 | 79 | 1 |
| Total | 232 | 8 |
| Error | | 3,3% |

La cantidad de tapas bien direccionadas son similares entre sí, tienen una distribución uniforme, por lo tanto los valores a obtener en las pruebas tienen una mayor probabilidad de coincidir con el número total de tapas enlainadas.

El porcentaje de error tiene un promedio aproximadamente del 3%, este dato demuestra que el sistema implementado brinda resultados confiables. Para minimizar el error el operador debe realizar un monitoreo constante de la máquina, para evitar un exceso de tapas en la pista inclinada, tapas atoradas en el trayecto, y cilindros defectuosos por falta de aire o mala calibración de los mismos.

5.4.1 ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN

Los aspectos fundamentales tomados en cuenta son la mano de obra y el tiempo de enlainado el mismo que es una hora, cabe recalcar que estos datos son analizados con un trabajador empezando la jornada de trabajo.

Mientras transcurre el tiempo la cantidad de tapas enlainadas por el trabajador va decayendo por cansancio, mientras que la máquina conserva las características constantes.

Los resultados mostrados en la tabla 35 se realizan tomando el tiempo de trabajo y verificando el número total de tapas enlainadas en los dos procesos, manual (forma tradicional) y automática (mediante la enlainadora).

Tabla 35: *Análisis de resultados*

| CARACTERÍSTICAS | ANTERIOR | ACTUAL |
|-----------------------------|----------|--------|
| Mano de obra (trabajadores) | 2 a 3 | 1 |
| Tapas de enlainadas (1h) | 2200 | 5000 |
| Versatilidad (%) | 45 | 100 |
| Modernización (%) | 0 | 100 |

Según se muestra en la tabla 35 el sistema actual es muy superior al método anterior (forma artesanal), se produce el doble de tapas en menos tiempo y con menos mano de obra, con respecto a este último dato cabe recalcar que las personas (obreros) que fueron reemplazados por la máquina serán ubicadas en otros puestos dentro de la empresa.

5.5 DESCRIPCIÓN DE COSTOS

En este proyecto se presenta los costos de fabricación directos e indirectos del sistema general de la enlainadora de tapas.

5.5.1 COSTOS DEL PROYECTO

Teniendo en cuenta el desempeño del proyecto, se logra alcanzar un promedio de producción de 5000 tapas/hora, la misma que aumenta la producción diaria, por el cual justifica el alcance del anteproyecto expuesto. Los costos del proyecto son recuperables a mediano plazo, para demostrar esta afirmación se realiza los análisis que se muestran en los siguientes apartados.

5.5.1.1 Costos directos

Son los cargos por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la fabricación de un artículo o del proceso de manufactura. Los costos directos de fabricación que intervienen en el proyecto se les ha separado por grupos para un mejor análisis, luego se realiza una sumatoria del total de la inversión. En las tablas 36-39 se muestran en detalle los costos directos divididas por grupos de aplicación.

Tabla 36: *Costos directos del sistema eléctrico y electrónico*

| CANT. | DETALLE | C. UNITARIO | SUBTOTAL |
|--------------|---------------------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | Fuente de poder 24VDC | 80 | 80 |
| 1 | Cable USB de comunicación | 150 | 150 |
| 3 | Luces piloto | 3,5 | 10,5 |
| 1 | Contacto 110[V] | 65 | 65 |
| 1 | Contacto 110[V] | 80 | 80 |
| 2 | Porta fusibles | 1,5 | 3 |
| 2 | Break riel 1x63A | 5,81 | 11,62 |
| 1 | Botón paro de emergencia | 20 | 20 |
| 20 | Borneras para riel 2,5 [mm] | 0,6 | 12 |
| 1 | Riel din | 1,5 | 1,5 |
| 3 | Canaleta 20×20 [mm] | 3 | 9 |
| 1 | Interruptor | 1,8 | 1,8 |
| 20 | Cable flexible #18 | 0,3 | 6 |
| 20 | Cable flexible #16 | 0,4 | 8 |
| 1 | Amarra plástica 10[cm] | 1,8 | 1,8 |
| 4 | Sensores SME-8M-DS-24V-K-2.5 | 41,15 | 164,6 |
| 2 | RT 318/N-100.11 | 32 | 64 |
| 1 | WT100-P1432 PALPADOR REFLEX | 116,88 | 116,88 |
| 1 | Libreta de etiquetas eléctricas | 9,5 | 9,5 |
| 1 | Otros | 50 | 50 |
| | | TOTAL 1 | 865,20 |

Tabla 37: Costos directos del sistema neumático

| CANT. | DETALLE | C. UNITARIO | SUBTOTAL |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------|
| 2 | QST-8 DERIVACION T | 7,06 | 14,12 |
| 1 | Cilindro DSNU-10-10-P-A | 69,55 | 69,55 |
| 2 | Cilindro DSNU-10-25-P-A | 69,87 | 139,74 |
| 1 | Cilindro 1130250160CN | 82,73 | 82,73 |
| 1 | Actuador Giratorio DSR-16-180-P | 338,51 | 338,51 |
| 2 | Cilindro DNCB-32-125-PPV-A | 151,94 | 303,88 |
| 8 | Regulador Festo GRLA-1/8-QS-6-D | 12,71 | 101,68 |
| 1 | LFR-1/2-D-MIDI Filtro Regulador | 114,67 | 114,67 |
| 20 | PUN-6X-1BL Tubo Poliuretano | 1,32 | 26,4 |
| 10 | PUN-8X1,25-BL Tubo Poliuretano | 1,95 | 19,5 |
| 10 | PUN-10X1,5-BL | 4,22 | 42,2 |
| 4 | QST-6 Derivación T | 6,07 | 24,28 |
| 4 | QS-1/2-10 Racor Rápido roscado | 8,1 | 32,4 |
| 3 | QS-1/4-8 Racor Rápido | 6,2 | 18,6 |
| 2 | QSL-10 UNION TUBO FLEX CODO | 7,66 | 15,32 |
| 6 | Racor rápido roscado en L QSL-6 | 8,75 | 52,5 |
| 1 | QSL-8 UNION TUBO FLEX CODO | 7,42 | 7,42 |
| 4 | QS-1/4-6 Racor Rápido | 5,8 | 23,2 |
| 4 | QSM-M5-6 RACOR RAPIDO | 3,64 | 14,56 |
| 4 | VAS-30-1/8-NBR VENTOSA | 11,28 | 45,12 |
| 2 | Válvula básica 2/2 | 88,91 | 177,82 |
| 2 | MSSD-EB CONECTOR | 3,52 | 7,04 |
| 2 | VSCS-B-M32-MH-WA-1C1 | 32,8 | 65,6 |
| 1 | QS-10 UNIÓN TUBO FLEXIBLE | 6,32 | 6,32 |
| 4 | Válvula de anti retorno HGL-1/8-QS-6 | 22,45 | 89,8 |
| TOTAL NETO | | | 1818,84 |
| I.V.A 12% | | | 218,2608 |
| TOTAL 2 | | | 2037,10 |

Tabla 38: Costos directos del juego de válvulas

| CANT. | DETALLE | C. UNITARIO | SUBTOTAL |
|-------|--|----------------|---------------|
| 5 | CPE18-P1-5L-1/4 Válvula básica | 99,5792 | 497,896 |
| 5 | VSCS-B-M32-MH-WA-1C1 Electroválvula | 36,736 | 183,68 |
| 5 | MSSD-EB Conector | 3,9424 | 19,712 |
| 1 | CPE18-PRS-3/8-8 Placa de alimentación | 83,9552 | 83,9552 |
| 1 | CPE18-RP Placa ciega | 10,7744 | 10,7744 |
| 3 | B-3/8 tapón ciego | 3,2144 | 9,6432 |
| 2 | 1013-AJ04-G Silenciador G3/8 Bronce ranura | 9,1616 | 18,3232 |
| 1 | QSL-3/8-10 Racor L Orientable | 7,0448 | 7,0448 |
| 5 | CPE18-H5-SET Pieza de Fijación | 11,4352 | 57,176 |
| 10 | QS-1/4-6 Racor Recto | 2,4192 | 24,192 |
| | | TOTAL 3 | 912,40 |

Tabla 39: Costos directos del ensamblaje

| CANT. | DETALLE | C. UNITARIO | SUBTOTAL |
|-------|---|----------------|--------------|
| 6 | Tablones de madera | 2,5 | 15 |
| 1 | Plancha de aluminio 50×50×8[mm] | 30 | 30 |
| 1 | Plancha de acero inoxidable 50×40×3[mm] | 35 | 35 |
| 2 | Tubos cuadrados 2"× 2"/3 | 23 | 46 |
| 1 | Platina 180×140 [mm] | 7 | 7 |
| 1 | Platina 140×90 [mm] | 6,5 | 6,5 |
| 10 | Disco de corte 7"/2 | 2 | 20 |
| 2 | Disco de lija #60 | 0,6 | 1,2 |
| 14 | Libras electrodo 6011 AGA 1/8 | 2,5 | 35 |
| 3 | Pintura sintética | 20 | 60 |
| 5 | Doblado de láminas | 5 | 25 |
| 1 | Mano de obra y otros elementos | 300 | 300 |
| | | TOTAL 4 | 580,7 |

En la tabla 40 se muestra el total de los costos directos de producción.

Tabla 40: *Valor total costos directos de producción*

| DETALLE | VALOR EN DÓLARES |
|----------------|-------------------------|
| TOTAL 1 | 865,20 |
| TOTAL 2 | 2037,10 |
| TOTAL 3 | 912,40 |
| TOTAL 4 | 580,70 |
| TOTAL | 4395,40 |

5.5.1.2 Costos Indirectos

Son los desembolsos que no pueden identificarse con la producción de mercancías o servicios específicos, pero que si constituyen un costo aplicable a la producción en general. Se conocen generalmente como gastos indirectos de manufactura.

A continuación en la tabla 41 se detalla el costo indirecto promedio que tiene el ensamblaje del proyecto.

Tabla 41: *Total de costos indirectos*

| DETALLE | TOTAL \$ |
|-----------------------|-----------------|
| Internet total | 100 |
| Materiales de oficina | 50 |
| Transporte | 150 |
| Impresiones | 100 |
| Gastos varios | 120 |
| Total | 520 |

5.5.1.3 Costo total

Es la sumatoria de los costos directos e indirectos que se especifican en la tabla 40 y 41 respectivamente.

Tabla 42: Costo total del proyecto

| DETALLE | CANTIDAD \$ |
|----------------------------|-----------------------|
| TOTAL DE COSTOS DIRECTOS | 4395,40 |
| TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS | 520 |
| TOTAL | <u>4915,40</u> |

Cabe recalcar que en los análisis de los costos directos de fabricación no se incluyen varios elementos que forman parte del sistema como por ejemplo el PLC, la alimentadora de tapas, las máquinas y herramientas, etc., esto fue debido a que en este caso el programador lógico se obtiene de otra máquina que salió fuera de la línea de producción, la alimentadora centrífuga por adaptación de la tolva cortadora de tapas, esto se realiza debido a que los elementos mencionados cumplen con las características requeridas por el proyecto, también no se incluyen los elementos del taller usados y su mano de obra debido a que algunas de las piezas se fabrican en la misma empresa.

5.6 ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO

El análisis costo beneficio no es más que el proceso de colocar cifras en dólares en los diferentes costos y beneficios de una actividad o cambio dentro de una empresa.

A continuación se detalla un análisis de costos de producción de la fábrica Induplast, refiriéndose principalmente al proceso de enlainado, donde se muestra los costos y cantidad de producción sin la utilización de la máquina, y con la implementación de la misma.

5.6.1 ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN SIN MÁQUINA

En los análisis de esta sección se hace referencia al objetivo de producción planteada en el anteproyecto el cual es 500[tapas/hora].

En la tabla 43 se muestra los precios de la materia prima implementada en los cuales se va a basar el análisis, estos costos varían dependiendo del tiempo (valores mínimos), cabe recalcar que los datos especificados son de la compra del mes de junio del 2014.

Tabla 43: Precios de la materia prima

| MATERIA PRIMA | CANT. | UNIDAD DE MEDIDA | PRECIO UNI. \$ | TOTAL \$ |
|--------------------|-------|---------------------|----------------|----------------|
| Polietileno (PE) | 4125 | [Kg] | 1,93 | 7961,25 |
| Liner | 350 | [millares de liner] | 3,1 | 1085 |
| Fundas | 450 | [Kg] | 1,8 | 810 |
| Colorante rojo | 25 | [Kg] | 0,2796 | 6,99 |
| Colorante amarillo | 25 | [Kg] | 0,262 | 6,55 |
| Colorante verde | 25 | [Kg] | 0,266 | 6,65 |
| Colorante Blanco | 25 | [Kg] | 0,1468 | 3,67 |
| | | | TOTAL | 9880,11 |

En la producción de 5000 tapas se utiliza la materia prima que se especifica a continuación en la tabla 44.

Tabla 44: Costo de producción en 5000 tapas

| MATERIA PRIMA | CANT. | UNIDAD DE MEDIDA | PRECIO UNI. \$ | TOTAL \$ |
|------------------|-------|------------------|----------------|--------------|
| Polietileno (PE) | 17,5 | [Kg] | 1,93 | 33,775 |
| Liner | 5000 | [unidades] | 0,0042 | 21 |
| Colorante rojo | 0,21 | [Kg] | 0,2796 | 0,05872 |
| | | | TOTAL | 54,84 |

Realizando un análisis del costo de producción unitario según lo especificado en la tabla 44, el producto con su respectivo liner tiene un costo de 0,011 dólares aproximadamente.

En la tabla 45 se realiza el desglose del mensual de los operadores encargados de la producción de las tapas de forma general, cabe recalcar que para este análisis no se toma en cuenta las horas complementarias (extras), pero si las horas nocturnas debido a que realizan turnos rotativos, esto se aplica debido a que la producción es constante.

Tabla 45: *Mano de obra en la producción de tapas sin la enlainadora*

| ÁREA DE TRABAJO | N° DE TRABAJADORES | PAGO MENSUAL | TOTAL MES |
|------------------|--------------------|--------------|-------------|
| Sopladora | 1 | 480 | 480 |
| Molino y empaque | 2 | 420 | 840 |
| Enlainado | 3 | 380 | 1140 |
| | | TOTAL | 2460 |

A más de los datos enlistados en la tabla 45 existen otros costos indirectos para la obtención del producto terminado, no se toma en cuenta en el análisis porque en cualquiera de los casos sea sin o con máquina seguirá siendo lo mismo.

Los costos indirectos de fabricación que no intervienen en el análisis son los siguientes:

1. Fundas de almacenamiento
2. Pallets
3. Gastos administrativos
4. Gastos por ventas
5. Otros gastos

Para el análisis es necesario conocer la cantidad de tapas enlainadas mediante el trabajo manual, la cual se verifica en la área de producción logrando obtener los datos que muestra en la tabla 46. Cabe recalcar que las cantidades mostradas es un promedio.

Tabla 46: *Tapas enlainadas en 8h*

| Trabajador | Fundas de 500/hora | Horas | Total |
|------------|--------------------|--------------|--------------|
| 1 | 3 | 8 | 12000 |
| 2 | 4 | 8 | 16000 |
| 3 | 3,5 | 8 | 14000 |
| | | TOTAL | 42000 |

Con los datos de la tabla 46 se puede afirmar que cada trabajador en su jornada de trabajo normal inserta un promedio de 14000 liners en las respectivas tapas, cabe recalcar que en la

fábrica solo dos persona son fijas en este puesto la tercera es simplemente un ayudante que tiene otras funciones, el cual es desplazado a este lugar cuando existe excesiva demanda del producto, por este motivo para los posteriores análisis se toma el valor promedio de producción del trabajo de dos personas el cual es de 28000 tapas aproximadamente en las ocho horas. Si se toma este valor diario entonces mensualmente se tiene 560000 tapas enlainadas en el mejor de los casos.

Después de analizar la producción de tapas, se procede a revisar las utilidades que se adquiere del producto, para lo cual es necesario realizar una relación entre el costo de la materia prima y el precio al cual se venden las tapas enlainadas, en este punto la fábrica trabaja con dos tipos de clientes los preferenciales y los generales, los primeros son clientes fijos con marcas reconocidas y los demás son los que suelen comprar de vez en cuando.

Tabla 47: *Precio de tapas*

| Tipo de cliente | Valor unitario | Total \$ |
|-----------------|----------------|----------|
| General | 0,0265 | 132,5 |
| Preferencial | 0,019 | 95 |

Luego de revisar las tablas 44 y 47, se sabe que el margen de las utilidades en la venta de cada tapa enlainada es de 0.8% (dato de la fábrica), entonces para una venta total del producto (lo ideal) al insertar el liner en forma manual es el dato que se muestra la tabla 48.

Tabla 48: *Utilidad por ventas sin la enlainadora*

| Utilidad | Total vendidos (mes) | Utilidad por mes |
|----------|----------------------|------------------|
| 0,008 | 560000 | 4480 |

Si de estas utilidades se cancela el sueldo a los operadores y obreros de la línea de producción de tapas enlainadas se tiene lo siguiente:

$$Utilidad\ final = utilidad\ por\ mes - sueldo\ de\ trabajadores\ del\ area$$

Ecuación 21: Utilidad final

Remplazando los datos de la tabla 45 (sueldo de los trabajadores de la inserción de liners) y 48 en la ecuación 21 se tiene:

$$Utilidad\ final = \$4480 - \$1140$$

$$Utilidad\ final = \$3340$$

Ecuación 22: Utilidad mensual sin la enlainadora

5.6.2 ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN CON LA ENLAINADORA

El costo de la materia prima implementada no varía, por el cual para proceder al análisis se hace referencia a las tablas 43 y 44. En la tabla 49 se muestra el costo de la producción de tapas con la implementación de la máquina enlainadora de tapas automática.

Tabla 49: *Mano de obra en la producción de tapas con la enlainadora*

| Área de trabajo | N° de trabajadores | Pago mensual | Total mes |
|------------------|--------------------|--------------|-------------|
| Sopladora | 1 | 480 | 480 |
| Molino y empaque | 2 | 420 | 840 |
| Enlainadora | 1 | 380 | 380 |
| TOTAL | | | 1700 |

Para realizar el cálculo de la utilidad mensual se toma en cuenta la producción de la enlainadora el cual es de 5000 tapas por cada hora, cabe recalcar que el valor es constante en cada tiempo a comparación del método anterior (forma tradicional). Al realizar el mismo análisis del apartado 5.6.1 se tiene una producción de tapas mensual de 800000 y la utilidad es la que se muestra en la tabla 50.

Tabla 50: *Utilidad por ventas con la enlainadora*

| Utilidad | Total vendidos (mes) | Utilidad por mes |
|----------|----------------------|------------------|
| 0,008 | 800000 | 6400 |

Para obtener la utilidad final se reemplaza los datos de la tabla 49 y 50 en la ecuación 21 el cual se muestra a continuación:

$$Utilidad\ final = \$6400 - \$380$$

$$Utilidad\ final = \$6020$$

Ecuación 23: Utilidad mensual con la enlainadora

Cabe recalcar que a la utilidad final mostrada en la ecuación 21 se resta otros gastos como el mantenimiento y consumo energético, pero estos anteriores no representa una cantidad considerable por el cual no se menciona en el análisis.

5.6.3 PERIODO DE LA RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Con el periodo de recuperación determinamos, el tiempo que tarda la empresa en recuperar la inversión en la maquinaria, para el cual se analiza las ecuaciones 22 y 23 el cual se muestra en la tabla 51.

Tabla 51: Análisis de las utilidades

| Utilidad | Otros pagos | Utilidad | Utilidad neta |
|-------------|-------------|----------|---------------|
| Sin máquina | 100 | 3340 | 3240 |
| con maquina | 200 | 6020 | 5820 |

Los otros gastos mostrados en la tabla 51 son gastos de energía y transporte, se añade 200\$ más al enlainado con la máquina implementada debido a que en el proceso se usa el aire comprimido y la energía eléctrica.

La utilidad adicional se aplica según la ecuación 24 que se muestra a continuación:

$$Utilidad\ adicional = utililidad\ con\ máquina - utililidad\ sin\ máquina$$

Ecuación 24: Utilidad adicional

Aplicando la ecuación 24 y reemplazando los valores de la tabla 51 se tiene lo siguiente:

$$Utilidad\ adicional = 5820 - 3240$$

$$Utilidad\ adicional = \$2580$$

Ahora simplemente para ver el periodo de recuperación se realiza la regla tres simple haciendo referencia a la tabla 42.

Tabla 52: *Periodo de recuperación*

| | | |
|---------|-----|--------|
| 2580 | 1 | Mes |
| 4915,40 | ? | |
| | 1,9 | Tiempo |

Según la tabla 52 el tiempo de recuperación de la máquina es de dos meses, sabiendo que la fábrica realiza y vende tapas de diferentes tamaños y no siempre existe la producción estimada por mes, entonces el tiempo máximo de recuperación según la experiencia es de cinco meses.

5.6.4 ANÁLISIS

Se establecen como costos, el valor de la maquinaria y beneficio los ganancias proporcionadas por la implementación del proyecto, estos datos son presentados a manera de valores estimados. En la tabla 53 se muestra el análisis del costo-beneficio del proyecto.

Tabla 53: *Costo-Beneficio*

| COSTO | VALOR | BENEFICIO | VALOR |
|--------------------------|----------------|-----------------------------|--------------|
| Inversión en el proyecto | 4915,40 | Aumento de la utilidad | 5820 |
| Mantenimiento | 50 | Disminución de mano de obra | 760 |
| | | Aumento de la demanda | 1500 |
| TOTAL COSTOS | 4965,40 | TOTAL BENEFICIOS | 8080 |

5.6.4.1 Cálculo costo-beneficio

Para obtener la relación beneficio-costo, se debe colocar las cifras de acuerdo como muestra la ecuación 25;

$$\text{Relación beneficio – costo} = \frac{\text{Total de ingresos actualizados}}{\text{Total costos actualizados} + \text{Inversión}}$$

Ecuación 25: Relación Beneficio-Costo

Entonces reemplazando los datos de la tabla 53 en la ecuación 22 se tiene lo siguiente:

$$\text{Relación beneficio – costo} = \frac{8080}{4965,40}$$

$$\text{Relación beneficio – costo} = 1,627$$

En conclusión el resultado anterior demuestra que la implantación de la máquina es rentable debido a que $1,627 > 1$

Este se considera un retorno positivo de la inversión, de esta manera se ha demostrado que si una industria plástica, realiza la inversión en una máquina automática de inserción de liner en las tapas plásticas de 40[mm] de diámetro obtendría mayor producción, satisfacer la demanda existente, un aumento de su utilidad, además de cambiar sus procesos productivos mediante la utilización de la tecnología.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El sistema de enlainado de tapas está funcionando en la empresa **INDUPLAST S.A** de la ciudad de Cayambe cumpliendo con las expectativas de la empresa patrocinadora del proyecto.
2. Mediante la implementación del enlainado automático se optimiza el proceso de inserción de liner en tapas plásticas de 40×17[mm] tipo rosca, reduciendo tiempo y aumentando la producción de 3000[tapas/hora] a 5000[tapas/hora], cumpliendo con los objetivos propuestos en el diseño de este sistema.
3. La inserción del liner mediante la implementación de cuatro ventosas en el enlainado, ayuda a reducir el tiempo de trabajo considerablemente, tomando en cuenta que dos obreros insertan de 3000 a 3500 como máximo en una hora, y la máquina con un solo operador y en el mismo tiempo llega a enlainar 5000 tapas, aumentando la producción en un 40%, con esto dejando obsoleto la forma tradicional.
4. Los costos que se generan en automatizar el proceso de enlainado son elevados, pero mediante un análisis costo beneficio se demuestra que es recuperable en un periodo de cinco meses, en el peor de los casos si disminuye la demanda el tiempo se incrementa a ocho meses, por lo especificado la inversión es a mediano plazo por el aumento de las tapas manufacturadas, en un menor tiempo y con un solo operador.

RECOMENDACIONES

1. El diseño implementado es realizado con elementos industriales del lugar, de la misma manera el ensamblaje mecánico con piezas de fácil acceso y fabricación, razón por la cual está abierta la posibilidad de una fabricación en serie.
2. Para un correcto arranque y trabajo del equipo es necesario leer y estudiar el manual de operación y mantenimiento adjunto en los anexos del proyecto, con esto se garantiza la correcta manipulación, vida útil y óptimo funcionamiento del sistema.
3. Realizar una inducción de seguridad industrial y capacitar al personal que intervienen en el sistema, con el fin de garantizar el buen desempeño de la máquina.
4. Verificar del correcto estado de las variables que intervienen en el sistema como fuentes de alimentación 110[V], 220[V] y el manómetro del aire comprimido a 85-90[PSI].
5. Para realizar la simulación de entradas y salidas en línea con la PC el programa debe ser idéntico a la del PLC, además revisar que el cable RS485/RS232 PPI de transferencia de se encuentre conectado correctamente.
6. El operador o técnico que manipula la máquina debe utilizar en todo momento los equipos de protección personal adecuados, siguiendo los estándares de seguridad y calidad que exige la empresa.
7. Para quienes deseen continuar realizando este proyecto se recomienda realizar un sistema autónomo general el cual lleve las tapas salientes de la inyectora a la cortadora y de este a la enlainadora, para que el proceso de producción de tapas sea unificado.

BIBLIOGRAFÍA

- Ángela, B. (3 de Agosto de 2011). *El Blog de Robótica al Descubierto*. Obtenido de <http://solorobotica.blogspot.com.br/2011/08/actuadores-en-robotica.html>
- Automation-Drive. (30 de Enero de 2013). *PLC Programming cable for Siemens*. Obtenido de <http://www.automation-drive.com/6ES7901-3CB30-0XA0-ISO>
- Chambi, P. J. (25 de 9 de 2011). *Control PI discreto de iluminación* . Obtenido de <http://lonely113.blogspot.com>
- Commons Atribución-Compartilgual. (1 de Febrero de 2013). *El plástico mata*. Obtenido de <http://elplasticomata.com/conceptos-basicos/>
- David, J. (1 de Junio de 2008). *Ingeniaste.com*. Obtenido de <http://www.ingeniaste.com/>
- ECUAINSETEC. (1 de Enero de 2014). *Catálogo de FESTO*. Obtenido de http://www.ecuainsetec.com.ec/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=136
- Facarlyte Cap Liners & Seals, S.A. (11 de Noviembre de 2011). *Sellados liners*. Obtenido de <http://4153.mx.all.biz/sellados-liners-g20792>
- FESTO. (1 de Octubre de 2004). *Catálogo de Neumática*. México.
- FESTO. (1 de Julio de 2014). *FAQ - Técnica de vacío*. Obtenido de http://www.festo.com/cms/es-cl_cl/9814.htm
- FESTO. (1 de Julio de 2014). *Inductive proximity switch SIES-8M* . Obtenido de http://www.festo.com/cms/nl-be_be/10223.htm
- Gerardo, V. (1 de Enero de 2003). *Actuadores neumáticos*. México, Naucalpan de Juárez.
- Hervás, V. (17 de Abril de 2008). *Aprendamos Tecnología*. Obtenido de <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2010/02/medioambiente-plasticos.pdf>

- Ifn Electronic. (1 de Mayo de 2009). *Instrucciones Operativas* . Obtenido de Parpador de lu Reflex OG: <https://www.ifm.com/mounting/701165ES.pdf>
- KSK Engineering & System. (2014 de Julio de 2014). *Combination Vacuum Pump*. Obtenido de <http://panpages.my/listings/my1960-ksk-engineering-system-sdn-bhd>
- Lesther, F. S. (2008). Diseño de un sistema de costos estándar en una industria fabricante de tapas plásticas. Guatemala: Universidad San Carlos.
- Lonely113. (1 de Octubre de 2012). *Control PID de un levitador magnético*. Obtenido de <http://lonely113.blogspot.com>
- Made-in-China.com. (5 de Agosto de 2014). *Cap Lining Machine for Carbonated Drinking (MF-30D)*. Obtenido de <http://cap-machine.en.made-in-china.com/product/YvhQcGOVZtkZ/China-Cap-Lining-Machine-for-Carbonated-Drinking-MF-30D-.html>
- Maganeboy, D. (1 de Julio de 2014). *Aficionados a la Mecánica*. Obtenido de <http://www.aficionadosalamecanica.net/>
- Manuel Vega Díaz, S. D. (9 de Septiembre de 2009). *Actuadores Neumáticos*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/guionbajho/actuadores-neumaticos>
- Mecantech. (24 de Octubre de 2011). *Mantenimiento Mecánico en una fábrica de papel*. Obtenido de Ingeniería Mecánica: Bombas de vacío de anillo líquido: <http://areamecanica.wordpress.com/2011/10/24/ingenieria-mecanica-bombas-de-vacio-de-anillo-liquido/>
- Metal Work. (1 de Julio de 2014). *Metal Work Pneumatic*. Obtenido de Mini-cylinders to ISO 6432: <http://www.spairtool.com/images/products/pagepdf/1.1-08.pdf>
- MICROautomación. (1 de Julio de 2014). *Componentes para el vacío*. Obtenido de <http://www.microautomacion.com/catalogo/Equiposparavaco.pdf>
- NASH by Gardner Denver. (1 de Julio de 2014). *Bomba de vacío de anillo líquido*. Obtenido de <http://www.gdnash.com.br/esp/index2.html>

- Orientech. (1 de Julio de 2014). *Orientadores Vibratorios*. Obtenido de <http://orientech.com/es/nuestros-productos/orientadores-vibratorios/>
- Orientech. (1 de Julio de 2015). *Alimentadores u Orientadores Centrifugos*. Obtenido de http://myfactoryrep.com/InfoSheets/ORIENTECH/alimentadores_centrifugos.aspx
- Parker Hannifin. (2003). Tecnología Neumática Industrial. En P. H. Corporation. Jacarei, SP - Brazil: Apostilla M1001 BR.
- Pompetravaine. (1 de Julio de 2014). *Manual Operativo de las bombas de vacío y compresores de anillo líquido*. Obtenido de www.preyva.com/bajar.php?id=B1%20Manual%20Vacio.pdf
- Sánchez, J. T. (25 de Noviembre de 2012). *Sensores*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/IvanRocanlover281107/sensores-15345193>
- SAPLI SOLUTIONS. (1 de Enero de 2013). *ALIMENTACIÓN Y ALINEADO DE PRODUCTOS CFM SC SERIES*. Obtenido de <http://www.sapli.com/ES/1774/PRODUCTOS/Alimentadores-y-orientadores/>
- SCHMALZ. (1 de Julio de 2014). *Técnica de vacío para procesos eficientes*. Obtenido de <http://es.schmalz.com/?lng=es>
- Sena Virtual. (1 de Enero de 2009). *PLC - Controladores Lógicos Programables*. Obtenido de <http://davidrojasticsplc.files.wordpress.com/2009/01/plc1s3.pdf>
- SIEMENS. (1 de Agos de 2008). *Manual del Sistema de Automatización S7-200*. Obtenido de <http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S7200ManualSistema.pdf>
- Universo Fórmulas. (1 de Enero de 2014). *Buscador de Universo Fórmulas*. Obtenido de <http://www.universoformulas.com/>
- WESCO DISTRIBUTION. (1 de Enero de 2010). *Principios Básicos de los PLC's*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/253701366/Principios-Basicos-PLC>

Yugsi, R. (1 de Enero de 2009). *Lenguanje de Programación de PLC'S*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec>

ANEXO A

Programa principal del PLC

S7-200

ANEXO B

Manual del usuario

ANEXO C

Manual de mantenimiento

ANEXO D

Planos mecánicos

ANEXO E

Planos electro neumáticos

ANEXO F

Hoja de datos de los
elementos neumáticos

ANEXO G

Datos técnicos de los
materiales

ANEXO H

Hoja de datos de los
elementos eléctricos y
electrónicos