

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO 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

Enlainadora automática de tapas plásticas de cuarenta milímetros de diámetro, para procesos de producción en serie

Gabriela Verdezoto, Cristian G. Tocagón

Resumen— El presente documento presenta un sistema de enlainado de tapas en forma rápida, precisa y segura según normas y técnicas de producción industrial, sin la necesidad de realizarlo manualmente como se lo viene realizando en las pequeñas y medianas industrias plásticas.

La implementación de la enlainadora permite al usuario mantener la producción constante de tapas con liners, el sistema se basa principalmente en elementos electro neumáticos accesibles en el mercado industrial acoplados a elementos mecánicos de fabricación mediante máquinas y herramientas.

I. INTRODUCCION

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.

La empresa está ubicada en la ciudad de 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, Ecuallac, entre otros, cada uno de los envases con sus respectivas tapas.

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.

II. FABRICACIÓN DE TAPAS

En general, un plástico es una 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.

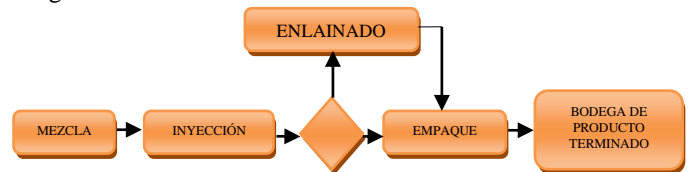


Figura 1: Diagrama de la producción de tapas (Lesther, 2008).

III. CONCEPTOS DE ENLAINADO

A. 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.

B. Liner

Se entiende por liner (revestimiento), al material que se coloca o adhiere en la parte interior de una tapa (ver figura 2), el cual cumple la función de dar mayor hermeticidad, al igual que un mejor sellado y mayor seguridad al contenido del envase. (Lesther, 2008).



Figura 2: Liner (Facarlyte Cap Liners & Seals, S.A., 2015)

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.

C. 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.

Las tapas que son enlainadas en la máquina del proyecto se muestran en la figura 3.



Figura 3: Tapas plásticas enlainadas

Las tapas que se muestran en la figura 3 tienen las siguientes características:

- 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

IV. PROCESO DE ENLAINADO

Las tapas comercializadas son enlainadas, debido a que así mantiene la calidad e inocuidad del producto que contiene el envase.

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.

En la tabla 1 se muestra a los procesos que intervienen en el enlainado de tapas, estos subsistemas son esenciales sin importar el modelo de la enlainadora.

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.

A. Requerimientos del proyecto

Se trata de ensamblar un sistema de enlainado automático en un ambiente de producción continuo. En la fábrica se tiene inyectoras de gran capacidad, estas 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.

Elementos de la enlainadora de tapas.

El ciclo de la producción termina con la implementación de una máquina de inserción de liners, la velocidad de esta máquina es capaz de compensar la producción de los equipos antes mencionados.

Los elementos mencionados a continuación están generalizados, no están se encuentran detallados ya que se lo realiza en los apartados posteriores de este documento.

Actuadores neumáticos

La energía del aire comprimido se transforma por medio de cilindros en un movimiento lineal de vaivén, y mediante motores neumáticos, en movimiento de giro.

Los cilindros de doble efecto (véase la figura 4) son aquellos que realizan tanto su carrera de avance como la de retroceso por acción del aire comprimido. Su denominación se debe a que emplean las dos caras del émbolo (aire en ambas

cámaras), por lo que estos componentes sí que pueden realizar trabajo en ambos sentidos.

Los actuadores rotativos (véase la figura 4) son los encargados de transformar la energía neumática en energía mecánica de rotación, dependiendo de si el móvil de giro tiene un ángulo limitado o no. En el proyecto, el actuador giratorio implementado es el de giro limitado, estos son elementos que proporcionan movimiento de giro pero no llegan a producir una revolución (exceptuando alguna mecánica particular como por ejemplo piñón – cremallera).



Figura 4: Actuador giratorio y lineal

Los elementos neumáticos descritos anteriormente para su correcto funcionamiento es necesario acoplarle de forma correcta y precisa a ciertos accesorios como:

- Racores rectos
- Tubo poliuretano 6, 8 y 10M
- QST Derivación T
- Racores rápidos
- Válvulas de estrangulación
- Válvulas básicas 2/2 y 5/2
- Otros elementos electro neumáticos

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, detección del mal posicionamiento de las tapas para la inserción de liners, dependiendo de la señal y la programación activan las siguientes funciones o en caso de fallas paran la máquina.

Sensores de proximidad 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 (Blogspot, 2015).

Estos dispositivos 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, detección del mal posicionamiento de las tapas para la inserción de liners, dependiendo de la señal y la programación activan las siguientes funciones o en caso de fallas paran la máquina.

PLC S7-200

Es el componente principal de control de la enlainadora, los dispositivos eléctricos, neumáticos y mecánicos que componen el sistema, son administrados por el programador lógico. El PLC tiene las características mostradas a en la tabla 2.

Tabla 2: 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	120V
Alimentación DC	24V
Tipo de conexión	Por relé (contacto libre de potencia)
Cable de programación	RS485/RS232 PPI

Generador 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. Para obtener un vacío constante y de alta precisión, al sistema se dota de una bomba de industrias Da Shin la misma que se muestra en la figura 5.



Figura 5: Bomba de vacío DS-1S

V. DESARROLLO MECATRÓNICO DEL SISTEMA

En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo del proceso de inserción de liners.

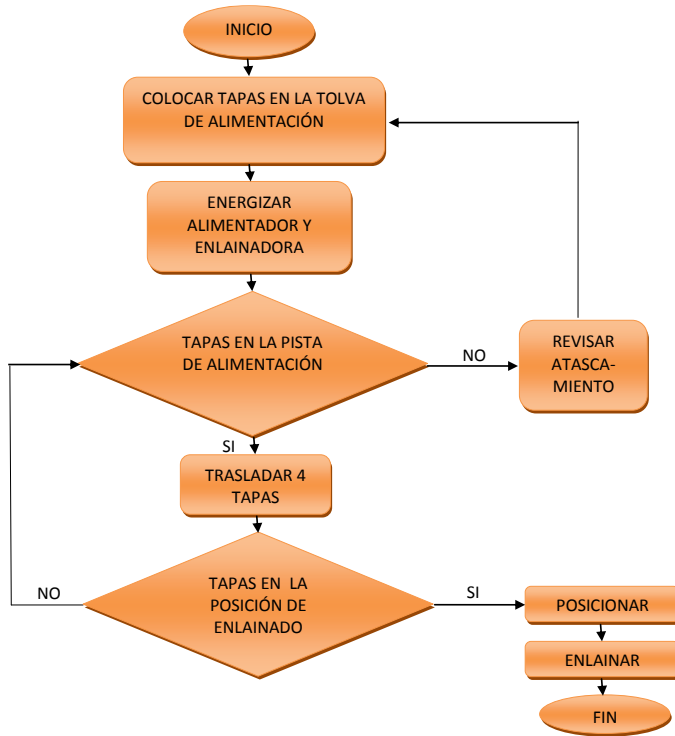


Figura 6: Diagrama de flujo del Sistema de enlainado

A. Alimentadora de tapas

Los criterios de evaluación para la selección de la alimentadora de tapas 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.

Según la especificación mencionada se selecciona la alimentadora centrífuga mostrada en la figura 7, en la cual también se observa la pista deslizante por el cual bajan las tapas a la máquina enlainadora.



Figura 7: Alimentadora centrífuga

B. Mecanismo de traslación

La selección de los elementos neumáticos para la traslación de tapas se realiza específicamente en función de la distancia total sumadas por las cuatro tapas a ser trasladadas. Este mecanismo lo conforman dos cilindros los mismos que se detallan en figura 8.

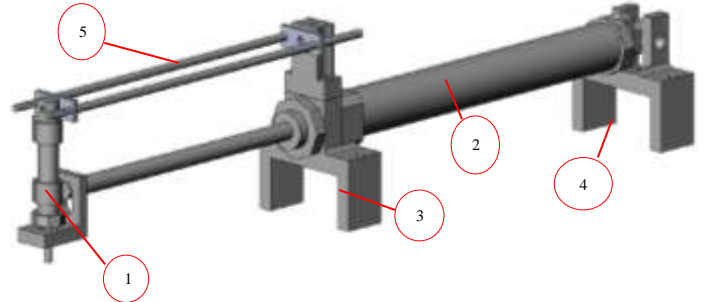


Figura 8: Mecanismo de traslación

Dónde:

1. Cilindro toma tapas
2. Cilindro de traslación
3. Soporte frontal
4. Soporte posterior
5. Guías de sujeción y equilibrio

Las características de los cilindros que forman el subsistema de traslación se muestra en las tablas 3 y 4, estas representan al cilindro toma tapas y al cilindro de traslación respectivamente.

Tabla 3: Características del Cilindro toma tapas (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]

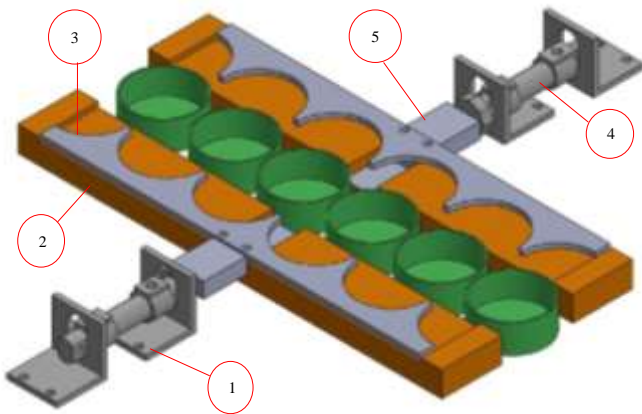
Tabla 4: Características del cilindro de traslación (Metal Work, 2014)

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

C. Mecanismo de posición de tapas

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 enlaminar en la pista vertical los cilindros cambian de estado (vástago extendido).

En la figura 9 se muestra la imagen del mecanismo el cual posiciona y separa las tapas, previo a la inserción de liners por el mecanismo correspondiente.

**Figura 9:** Mecanismo de posición de tapas

Dónde:

1. Elemento de sujeción de los cilindros
2. Pieza fija de deslizamiento
3. Garras de separación y posicionamiento
4. Cilindro de doble efecto
5. Acople del cilindro y la garra

Las características del cilindro de doble efecto implementado en el mecanismo de posición y separación de las tapas se muestran en la tabla 5.

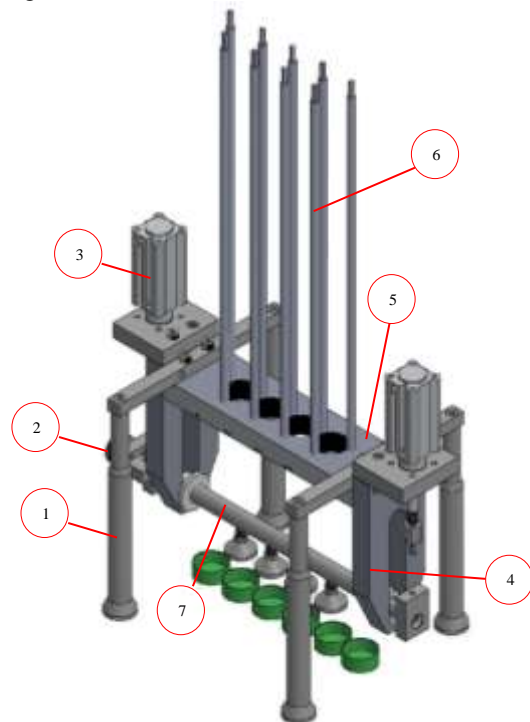
Tabla 5: Características del Cilindro de posición (FESTO, 2004)

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]

D. Mecanismo de inserción de liners

Este mecanismo sin menospreciar la importancia de las anteriores viene a ser el más significativo, debido a que en este punto se realiza el trabajo final o el objetivo propuesto en el 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 el ensamblaje del mecanismo se realiza de acuerdo a las dimensiones del liner y las tapas.

En la figura 10 se muestra el mecanismo de inserción de liners.

**Figura 10:** Mecanismo de inserción de liners

Dónde:

1. Soportes de la estructura
2. Actuador giratorio
3. Cilindros verticales
4. Oblongo
5. Porta liner
6. Varillas de apilamiento de liners
7. Eje de giro

Diseño del eje

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.

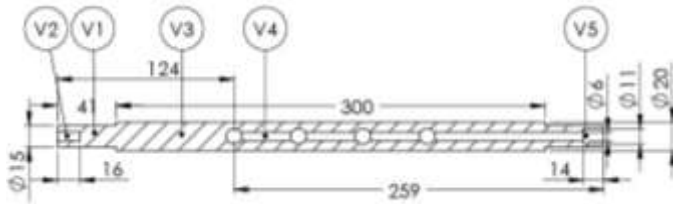


Figura 11: Dimensiones del eje

El volumen del eje está dado por la siguiente fórmula:

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

Ecuación 1: Volumen del eje

Dónde:

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

Reemplazando los datos en la ecuación 1 se tiene:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El volumen total del eje está definido por:

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

Reemplazando los datos se tiene:

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

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

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

Como siguiente se calcula la masa, para lo cual se necesita la densidad del hierro de transmisión la misma que es de $7,9 g/cm^3$.

$$m = V \times \delta$$

Ecuación 2: 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), la misma que se expresa como sigue

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

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

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 3 el mismo que expresa lo siguiente:

$$W = m \times g$$

Ecuación 3: Peso de un cuerpo

Dónde:

- m : Masa [Kg]
- g : Fuerza gravitacional [$9,81 m/s^2$]

Reemplazando se tiene:

$$W = 0.790 \times 9.81$$

$$W = 7.752 [N]$$

Se procede a realizar el diagrama del cuerpo libre para obtener las demás variables necesarias para la selección de los elementos actuantes. En la figura 12 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.

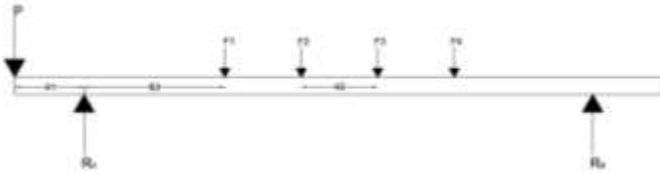


Figura 12: Diagrama de fuerzas en el plano

Dónde:

- P: El peso del actuador giratorio [N]
- F1, F2, F3 y F4: Pesos de la porta ventosa [N]
- Ra y Rb: Reacción en los bocines [N]

El dato de los pesos de los de la porta ventosas, 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 ventosas se hace referencia a la ecuación 3, 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 13 se muestra el diagrama de cuerpo libre con cada una de las cargas.

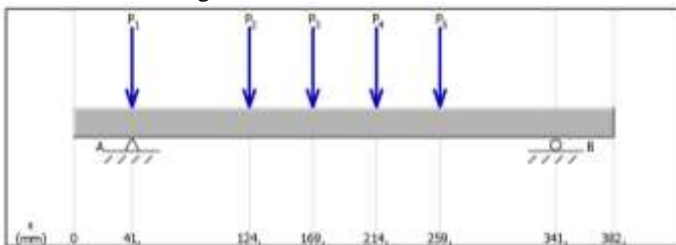


Figura 13: Diagrama de cargas en MDSolids

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:

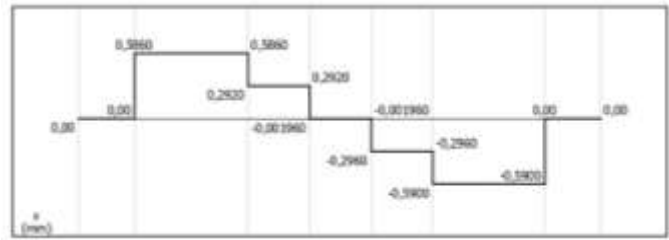


Figura 14: Diagrama de cortes

Mediante la figura 14 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 areas encontradas se procede a encontrar el diagrama de momentos, la misma que se muestra en la figura 12.

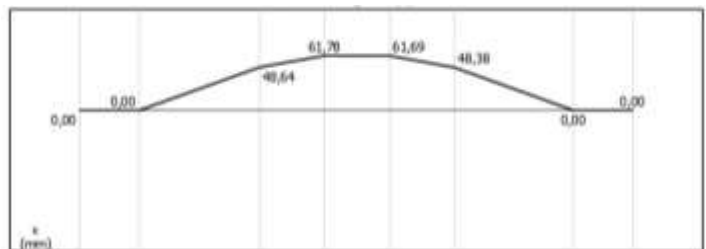


Figura 15: Diagrama de momentos

La figura 15 muestra el valor de $61.78[N \cdot mm]$, el más alto en este caso positivo, pero esto no influye en nada ya que siempre se toma el valor absoluto.

Se busca la potencia del motor la misma que viene expresada por la ecuación 4.

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

Ecuación 4: 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 5: Potencia a transmitir

Dónde:

- P_o : Potencia a transmitir [hp]

- T : Torque máximo (61.78[N.mm])
- 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 6: Velocidad angular

Dónde:

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

Al remplazar 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.

$$Po = 0.06178 \times 13.959$$

$$Po = 0.862$$
[W]

Trasformando se tiene:

$$Po = 0.001$$
[hp]

Con el dato calculado se obtiene la potencia del motor.

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

$$Pm = 0.001$$
[hp]

Con los datos especificados se selecciona el actuador giratorio el cual tiene las características que se enlista en la tabla 6.

Tabla 6: Características del actuador giratorio

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

La selección de los cilindros verticales se realiza en la función del peso de eje con su respectiva porta ventosas, el actuador giratorio y el giro que proporciona este junto a los demás

elementos mencionados, los mismos que cumplen con las características enlistadas en la tabla 7.

Tabla 7: Características de los cilindros verticales

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]

E. 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 8: 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 8 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].

VI. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA

Para la construcción de la máquina se realizaron operaciones tecnológicas de mecanizado que se detallan en la tabla 9, la misma que se muestra a continuación:

Tabla 9: Operaciones de mecanizado

NÚMERO	OPERACIÓN
1	Trazado
2	Corte del material
3	Torneado/doblado
4	Esmerilado
5	Taladrado
6	Soldado
7	Fondeado
8	Pintado

El montaje de los elementos mecánicos y neumáticos se detalla mediante los subsistemas del proceso los cuales son: alimentación, traslación, posicionamiento e inserción de liners, para el desglose de procedimientos se usa la simbología indicada en la tabla 10.

Tabla 10: Simbología para 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.	▽

A. Montaje de la mesa de trabajo

En la figura 16 se muestra la mesa ensamblada, y en la 17 las actividades realizadas en el ensamblaje de la misma.



Figura 16: Mesa de trabajo

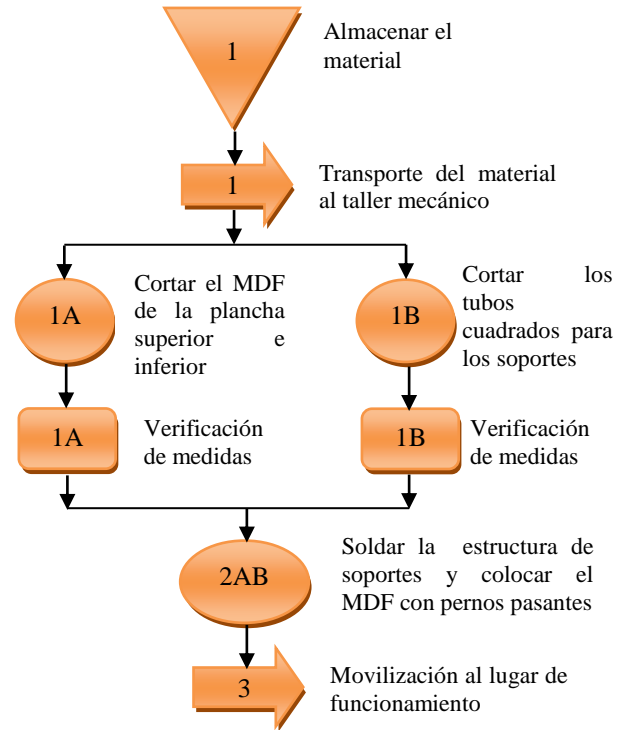


Figura 17: Diagrama de flujo del ensamblaje de la mesa de trabajo

B. Montaje del subsistema de alimentación

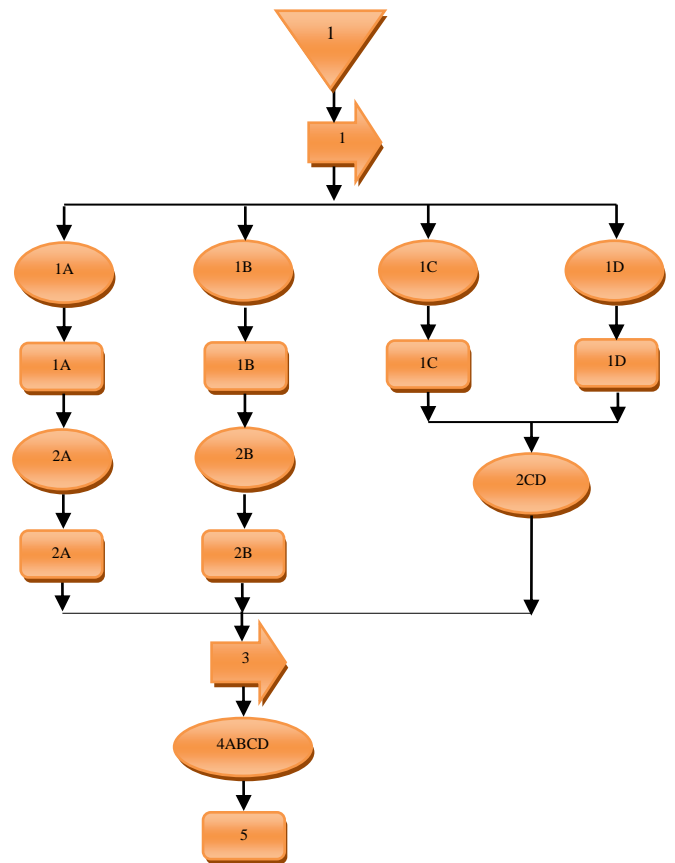


Figura 18: Diagrama de flujo del ensamblaje del mecanismo de alimentación

Tabla 11: Descripción de la figura 18

Símbolo	Identificación	Descripción
▽	1	Almacenar el material
⇒	1	Transporte del material al taller mecánico
○	1A	Cortar la plancha de acero inoxidable para la pista vertical 1 y 2
○	1B	Cortar la plancha de mica para cerrar la salida de las tapas
○	1C	Cortar la varilla de 1/8" para el deslizador
○	1D	Cortar la barra 12 × 4[mm] y torneear los marcos de entrada y salida de tapas del deslizador
□	1A, 1B, 1C y 1D	Verificación de medidas
○	2A	Doblar y cortar la cavidad de la pista vertical 1 para el mecanismo de posición.
○	2B	Realizar en la fresa el oblongo y los desalijos para tornillos
○	2CD	Soldar la varilla y la barra con los marcos de entrada y salida
□	2A y 2B	Verificación de medidas
⇒	3	Movilización al lugar de funcionamiento
○	4ABC	Atornillar la mica sobre la pista vertical 2 y acoplar el deslizador a la salida de la tolva de alimentación.
□	5	Verificación de posición de mecanismos.

C. Montaje del subsistema de traslación

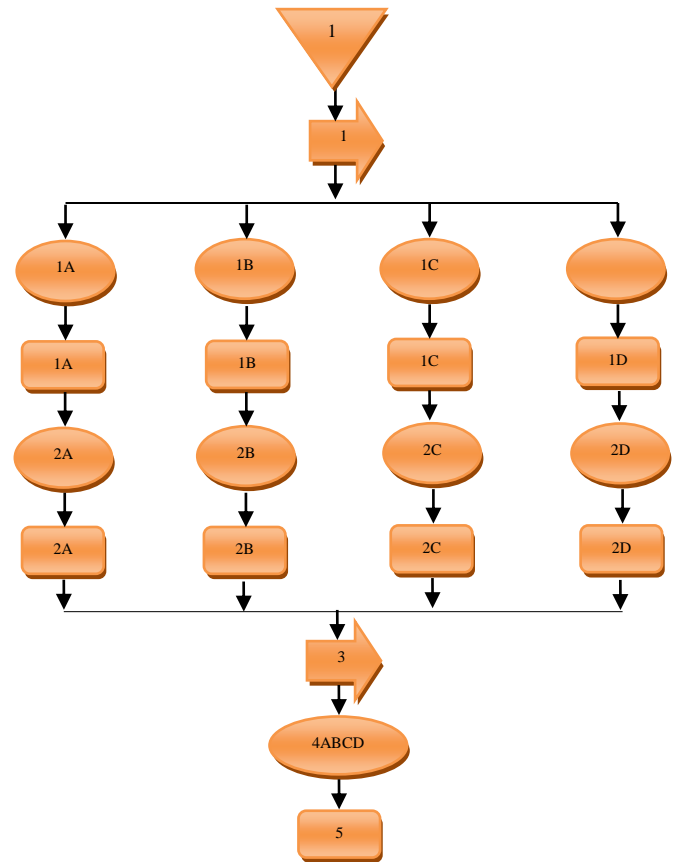


Figura 20: Diagrama de flujo del ensamble del mecanismo de traslación

Tabla 12: Descripción de la figura 20



Figura 19: Construcción del subsistema de alimentación

Símb.	Ident.	Descripción
▽	1	Almacenar el material
⇒	1	Transporte del material al taller
○	1A	Cortar y fresar la plancha de aluminio para el soporte frontal y posterior.
○	1B	Cortar y fresar la plancha aluminio en forma de L para el acople de los cilindros
○	1C	Cortar y fresar el soporte y la platina de aluminio para las guías.
○	1D	Cortar la varilla M8 para fijar el eje del cilindro de traslación
□	1A, 1B, 1C y 1D	Verificación de medidas
○	2A	Lijar y realizar los respectivos pasantes para soporte con el tornillo M4
○	2B	Lijar la pieza
○	2C	Lijar y realizar agujeros pasantes para tornillo M4 en el soporte en la platina
○	2D	Roscar una de las puntas en M4.
□	2A, 2B, 2C y 2D	Verificación de medidas
⇒	3	Movilización al lugar de funcionamiento
○	4ABCD	Atornillar los soportes principales sobre la mesa de trabajo y ensamblar las guías y su soporte con la varilla.
□	5	Verificación de posición de mecanismos.

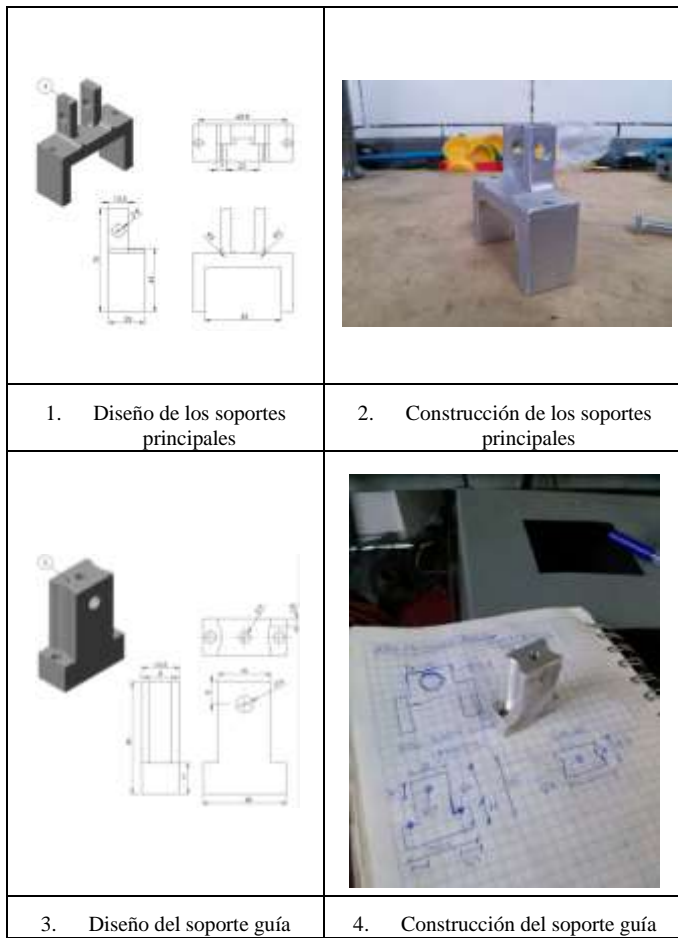


Figura 21: Construcción del mecanismo de traslación

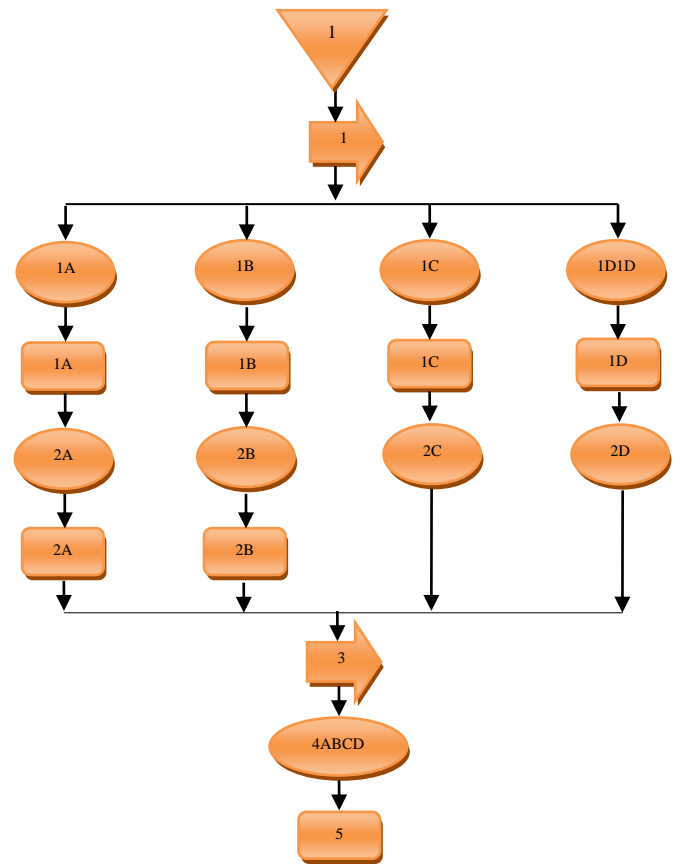


Figura 23: Diagrama de flujo del ensamble del mecanismo de traslación

Tabla 13: Descripción de la figura 23

Símb.	Ident.	Descripción
▽	1	Almacenar el material
⇒	1	Transporte del material al taller mecánico
○	1A	Cortar y fresar la plancha de duralón para el elemento fijo.
○	1B	Cortar y fresar la plancha de acero inoxidable para detener el levantamiento de las tapas y la garra de posición
○	1C	Cortar y fresar la plancha de aluminio para el acople con los cilindros.
○	1D	Cortar y fresar los soportes de la pieza que detiene el levantamiento de tapas.
□	1A, 1B, 1C y 1D	Verificación de medidas
○	2A	Lijar y realizar los respectivos agujeros pasantes para soporte con el tornillo M4
○	2B	Lijar la pieza y realizar pasantes de M4 en la garra y M10 en la pieza del levantamiento
○	2C y 2D	Lijar la pieza
□	2A y 2B	Verificación de medidas
⇒	3	Movilización al lugar de funcionamiento
○	4ABCD	Atornillar el elemento fijo sobre la mesa de trabajo, colocar el acople y ubicar la pieza que detiene el levantamiento de tapas sobre sus respectivos soportes.
□	5	Verificación de posición de mecanismos.

D. Montaje del mecanismo de posición



Figura 22: Subsistema de posicionamiento de tapas

A continuación se muestra el diagrama de flujo del ensamble del mecanismo de posición (Véase la figura 23) y de la misma manera su diseño y construcción (Véase la figura 24).

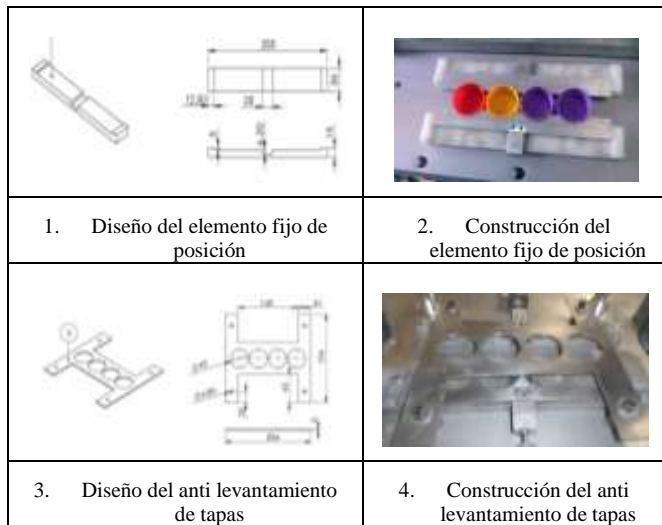


Figura 24: Construcción del mecanismo de traslación

E. Montaje del mecanismo de inserción de liners

Este subsistema a comparación de los anteriores tiene más elementos de análisis, por el cual se le ha dividido en dos las mismas que son la estructura de soporte y el mecanismo giratorio.

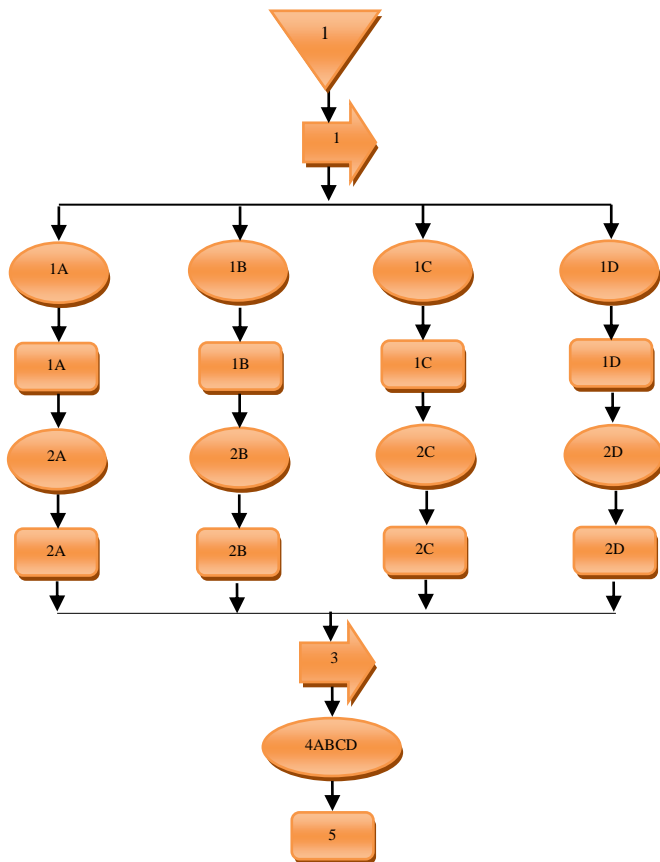


Figura 25: Diagrama de flujo de la estructura de inserción de liners

Tabla 14: Descripción de la figura 25

Símbolo	Identificación	Descripción
▽	1	Almacenar el material
⇒	1	Transporte del material al taller mecánico
○	1A	Cortar y fresar el perno del soporte principal y la barra diagonal
○	1B	Cortar y fresar la plancha de aluminio para el porta liner
○	1C	Cortar y fresar la plancha de aluminio para el soporte de los cilindros verticales.
○	1D	Cortar las varillas de acero inoxidable M10 para apilar liners.
□	1A, 1B, 1C y 1D	Verificación de medidas
○	2A	Realizar pasantes de sujeción en la barra diagonal y agujero superior e inferior en el soporte
○	2B	Realizar pasantes de sujeción y alojamiento para tornillos tipo allen M2 con cabeza perdida.
○	2C	Realizar pasantes de sujeción según las medidas del cilindro.
○	2D	Realizar con el machuelo la rosca M8 y al otro lado acoplamiento para la llave de boca M8.
□	2A, 2B ,2C y 2D	Verificación de medidas
⇒	3	Movilización al lugar de funcionamiento
○	4ABCD	Colocar el soporte principal en la mesa de trabajo con pernos M8 tipo allen y sobre este elemento acoplar la porta liner y los soportes de los cilindros principales.
□	5	Verificación de posición de mecanismos.

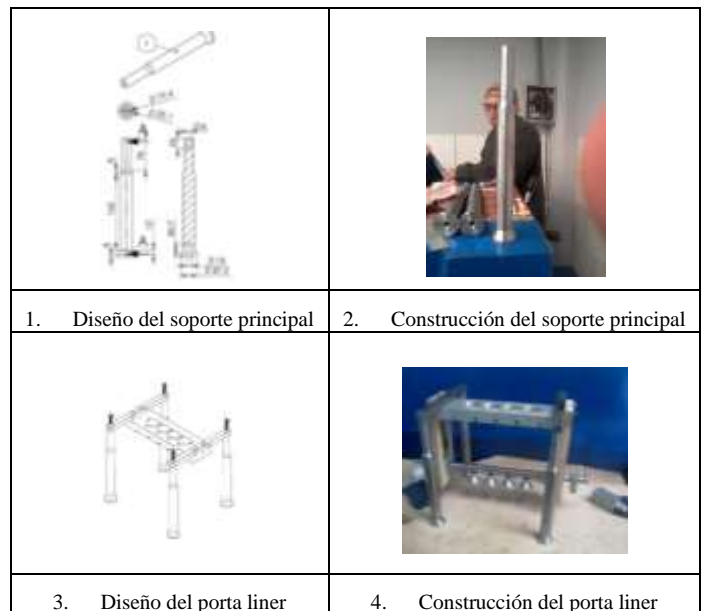


Figura 26: Construcción de la estructura de inserción de liners

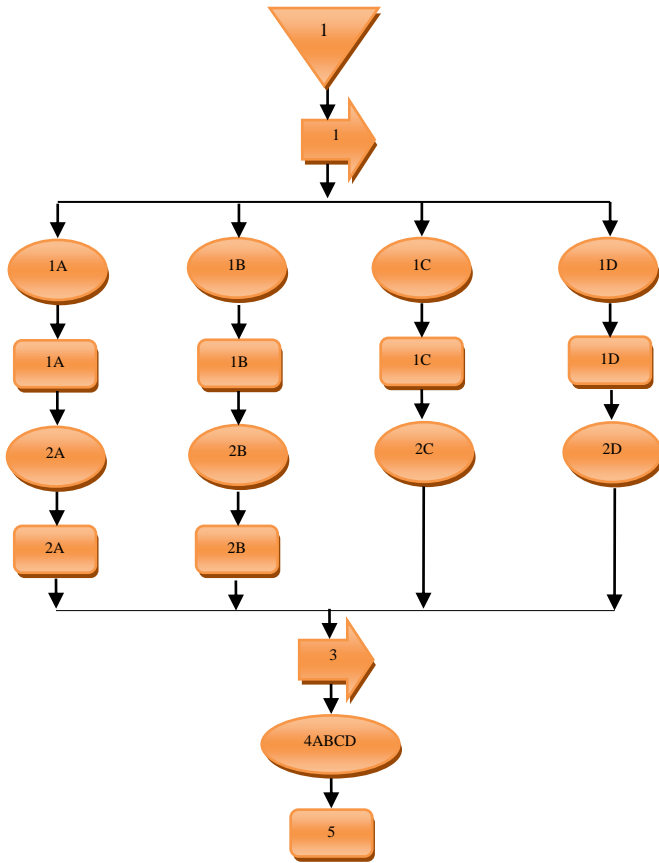


Figura 27: Diagrama de flujo del ensamble del mecanismo giratorio

Tabla 15: Descripción de la figura 27

Símb.	Ident.	Descripción
▽	1	Almacenar el material
⇒	1	Transporte del material al taller mecánico
○	1A	Cortar, fresar y torneare el acero inoxidable sólido para el eje principal
○	1B	Cortar y fresar la plancha de aluminio para el oblongo y los acoples cilindro con el actuador giratorio y el eje
○	1C	Cortar y fresar el duralón para el bocín
○	1D	Cortar y torneare la varilla de cobre para las porta ventosas
□	1A, 1B, 1C y 1D	Verificación de medidas
○	2A	Lijar y realizar los alojamientos para las porta ventosas y el chavetero para acoplar el actuador.
○	2B	Lijar y realizar pasantes en el acople actuador giratorio con el eje y en el oblongo
○	2C	Lijar la pieza
○	2D	Lijar y limar con la lima redonda
□	2A y 2B	Verificación de medidas
⇒	3	Movilización al lugar de funcionamiento
○	4ABCD	Atornillar el elemento fijo sobre la mesa de trabajo, colocar el acople y ubicar la pieza detiene levantamiento de tapas sobre sus respectivos soportes.
□	5	Verificación de posición de mecanismos.



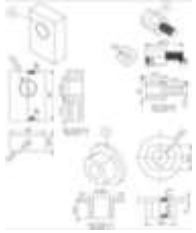

	
1. Diseño del eje principal	2. Construcción del eje principal
	
3. Diseño sujeción del eje y acoples de actuadores	4. Construcción sujeción del eje y acoples de actuadores

Figura 28: Construcción del mecanismo giratorio

F. Montaje del sistema neumático general

El análisis del ensamble de elementos neumáticos se realiza de forma general de todo el sistema de inserción de liners.

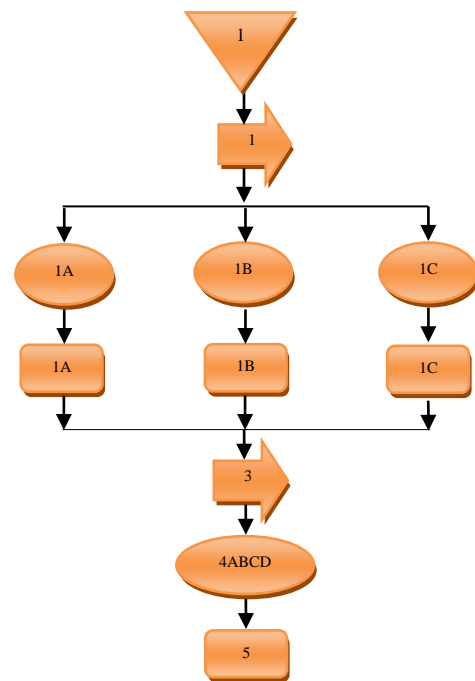


Figura 29: Diagrama de flujo del sistema neumático general

Tabla 16: Descripción de la figura 29

Símbolo	Identificación	Descripción
▽	1	Almacenar el material
⇒	1	Movilizar al lugar de funcionamiento.
○	1A	Colocar los cilindros verticales en cada uno de los soportes con pero tipo allen de cabeza perdida
○	1B	Instalar el actuador giratorio con los respectivos acoples en el eje principal.
○	1C	Cortar la tubería flexible acorde a las medidas de la salida de la válvula básica hacia su respectivo racor.
□	1A	Verificar la posición y que se encuentren fijos.
□	1B	Revisar equilibrio y que el eje se encuentre totalmente vertical
□	1C	Verificación de medidas
○	2ABC	Colocar las válvulas de estrangulación en la entrada y la salida de los cilindros verticales, y realizar la respectiva conexión.
□	5	Verificar la instalación y cada una de las conexiones

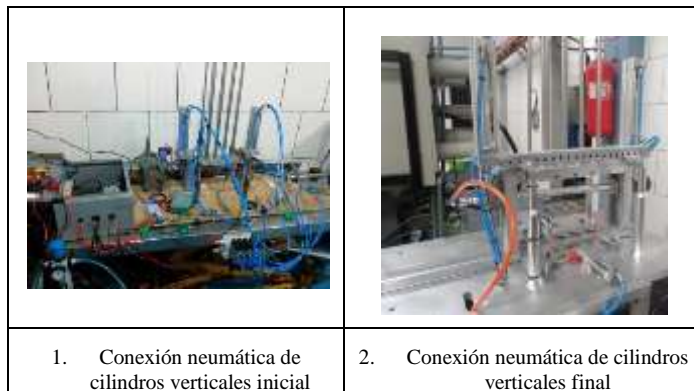


Figura 30: Ensamblaje del sistema neumático

VII. ANÁLISIS 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. El estudio en la inserción de liners se realiza de forma manual y automático.

A. Análisis con la inserción de liner de forma manual

En la producción de 5000 tapas (objetivo) se utiliza la materia prima que se especifica a continuación en la tabla 17.

Tabla 17: Costo de producción para 500 tapas

MATERIA PRIMA	CANT.	U. 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 17, el producto con su respectivo liner tiene un costo de 0,011 dólares aproximadamente.

En la tabla 18 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 18: Mano de obra en la producción de tapas sin la enlainadora

ÁREA DE TRABAJO	Nº DE TRABAJADORES	PAGO MENSUAL	TOTAL MES	
Sopladora	1	480	480	
Molino y empaque	2	420	840	
Enlainado	3	380	1140	
			TOTAL	2460

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 19. Cabe recalcar que las cantidades mostradas es un promedio.

Tabla 19: 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

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 20: El precio de las tapas

Tipo de cliente	Valor unitario	Total \$
General	0,0265	132,5
Preferencial	0,019	95

Luego de revisar las tablas 19 y 20, 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 21.

Tabla 21: 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:

$$Uf = Us - St$$

Ecuación 7: Utilidad final

Dónde:

- Uf : Utilidad final
- Us : Utilidad por mes
- St : Sueldo de los trabajadores del área

Remplazando los datos de la tabla 19 (sueldo de los trabajadores de la inserción de liners) y 21 en la ecuación 7 se tiene:

$$Uf_1 = \$4480 - \$1140$$

$$Uf_1 = \$3340$$

Ecuación 8: Utilidad mensual sin la enlainadora

B. Análisis de la inserción de liners automático

En la tabla 22 se muestra el análisis del costo de la mano de obra al realizar el trabajo de inserción de liners con la máquina implementada.

Tabla 22: 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 método anterior se tiene una producción de tapas mensual de 800000 y la utilidad es la que se muestra en la tabla 23.

Tabla 23: Utilidad por ventas con la enlainadora

Utilidad	Total vendidos (mes)	Utilidad por mes
0,008	800000	6400

Para obtener la utilidad final se remplaza los datos de la tabla 19 y 23 en la ecuación 7 el cual se muestra a continuación:

$$Uf_2 = \$6400 - \$380$$

$$Uf_2 = \$6020$$

Ecuación 9: Utilidad mensual con la enlainadora

Cabe recalcar que a la utilidad final mostrada en la ecuación 23 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.

C. Periodo de 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 8 y 9 el cual se muestra en la tabla 24.

Tabla 24: Análisis de las utilidades

Operación	Otros pagos	Utilidad	Utilidad neta
Sin máquina	100	3340	3240
con maquina	200	6020	5820

Los otros gastos mostrados en la tabla 24 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 10 que se muestra a continuación:

$$Ua = Um - Usm$$

Ecuación 10: Utilidad adicional

Dónde:

- Ua : Utilidad adicional
- Um : Utilidad con la maquina
- Usm : Utilidad sin la maquina

Aplicando la ecuación 10 y reemplazando los valores de la tabla 24 se tiene lo siguiente:

$$Ua = 5820 - 3240$$

$$Ua = \$2580$$

Ahora simplemente para ver el periodo de recuperación se realiza la regla tres simple, la misma que se muestra en la tabla 25.

Tabla 25: Periodo de recuperación

2580	1	Mes
4915,40	?	
	1,9	Tiempo

Según la tabla 25 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.

D. 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 26 se muestra el análisis del costo-beneficio del proyecto.

Tabla 26: 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

E. Calculo del costo-beneficio

To obtain the cost-benefit ratio, agreement numbers should be placed as shown in equation 11:

$$\text{Cost - benefit ratio} = \frac{T_{in-ac}}{T_{c-ac} + inversion}$$

Equation 11: Cost-benefit ratio

Where:

- T_{in-ac} : Total updated income
- T_{c-ac} : Total costs to date

Entonces reemplazando los datos de la tabla 26 en la ecuación 11 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 que $1,627 > 1$.

Este valor 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.

VIII. 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 meces, 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.

IX. 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 enlaminadora, 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>

Commons Atribución-Compartilgual. (1 de Febrero de 2013). *El plástico mata*. Obtenido de <http://elplasticomata.com/conceptos-basicos/>

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

Manuel Vega Díaz, S. D. (9 de Septiembre de 2009). *Actuadores Neumáticos*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/guionbajho/actuadores-neumaticos>

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>

Orientech. (1 de Julio de 2015). *Alimentadores u Orientadores Centrífugos*. 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

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>

Yugsi, R. (1 de Enero de 2009). *Lenguanje de Programación de PLC'S*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec>

REFERENCIA DEL AUTOR

Cristian Geovany Tocagón Tocagón

Nacido el 01 de enero de 1988 en la ciudad de Otavalo, bachiller en Físico Matemático del Colegio Experimental “Jacinto Collahuazo”, ahora denominado Unidad Educativa Jacinto Collahuazo.

Los estudios universitarios los realizó en la Universidad Técnica del Norte en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

Las áreas de interés son: mantenimiento/automatización industrial, electricidad, mecánica, electrónica, robótica y control.

(cristian.tt_17@hotmail.com)