

**REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL**

# **Automatización electroneumática del proceso de prensado de fotobotonos publicitarios**

**Autor: Armando Ochoa Martínez**

**Tesina presentada para obtener el título de:  
Ing. Industrial en Procesos y Servicios**

**Nombre del asesor:  
Fernando Alcázar Ceja**

Este documento está disponible para su consulta en el Repositorio Académico Digital Institucional de la Universidad Vasco de Quiroga, cuyo objetivo es integrar organizar, almacenar, preservar y difundir en formato digital la producción intelectual resultante de la actividad académica, científica e investigadora de los diferentes campus de la universidad, para beneficio de la comunidad universitaria.

Esta iniciativa está a cargo del Centro de Información y Documentación “Dr. Silvio Zavala” que lleva adelante las tareas de gestión y coordinación para la concreción de los objetivos planteados.

Esta Tesis se publica bajo licencia Creative Commons de tipo “Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada”, se permite su consulta siempre y cuando se mantenga el reconocimiento de sus autores, no se haga uso comercial de las obras derivadas.





**UVAQ**

M.R.

**UNIVERSIDAD  
VASCO DE QUIROGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN  
PROCESOS Y SERVICIOS

“AUTOMATIZACIÓN ELECTRONEUMÁTICA  
DEL PROCESO DE PENSADO DE  
FOTOBOTONES PUBLICITARIOS”

**TESINA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO INDUSTRIAL EN PROCESOS Y  
SERVICIOS

PRESENTA:

**C. ARMANDO OCHOA MARTÍNEZ**

ASESOR:

**M.C. FERNANDO ALCÁZAR CEJA**

CLAVE: 16PSU0050V

ACUERDO: LIC100412

MORELIA, MICHOACÁN

NOVIEMBRE - 2011

*Dedicatoria.*

**A Dios.**

*Gracias Dios por permitirme llegar hasta este día, por permitirme compartir mi felicidad con todos mis seres queridos, porque gracias a ti mis sueños se han convertido en realidad.*

**A mis padres.**

*Armando y Silvia quienes con todo su amor, comprensión y cariño me han enseñado a ser una persona de provecho, a quienes les debo todo lo que soy y todo lo que tengo, a quienes la ilusión de su vida siempre ha sido mi superación, les doy las más sinceras gracias, pues aún con todo lo que pudiera tener no les podría pagar con nada todo lo que han hecho por mí, los quiero mucho papás.*

**A mi esposa.**

*Celina que me ha apoyado desde que éramos novios, que gracias a su amor y cariño las cosas son más fáciles y que aún en los momentos más difíciles me ha apoyado de forma incondicional, que es mi presente y mi futuro y llegó para convertirse junto con esa personita que llevas en tu vientre en mi motor de vida, te amo gorda.*

**A mi hermana.**

*Chivis que siempre me ha apoyado incondicionalmente, que sabe que su cariño y apoyo han sido indispensables para llegar a este día, y que es un ejemplo de cómo salir adelante ante la adversidad, te quiero mucho hermana.*

**A mi asesor.**

*Agradezco al M.C. Fernando Alcázar Ceja por su gran apoyo, atención, paciencia y haberme guiado en la realización de esta tesina, gracias.*

## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

<b>RESUMEN.....</b>	<b>V</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>VI</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>VII</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ALCANCES.....</b>	<b>IX</b>
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>X</b>
<b>1.0 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.0 MARCO TEORICO.....</b>	<b>2</b>
2.1 FOTOBOTONES.....	2
2.2 MÁQUINA Prensadora de FOTOBOTONES.....	2
2.3 FATIGA.....	3
2.4 ELEMENTOS FÍSICOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	4
2.4.1 EL AIRE.....	4
2.4.2 PRESIÓN.....	5
2.4.3 CAUDAL.....	5
2.5 NEUMÁTICA.....	5
2.5.1 POTENCIA NEUMÁTICA.....	6
2.6 EL AIRE COMPRIMIDO.....	8
2.6.1 PRODUCCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO.....	9
2.7 COMPRESORES.....	10
2.7.1 TIPOS DE COMPRESORES.....	10
2.8 ELECTRONEUMÁTICA.....	15
2.9 AUTOMATIZACIÓN.....	16
2.10 MANDO BIMANUAL.....	17
<b>3.0 REVISIÓN TÉCNICA.....</b>	<b>18</b>
3.1 CILINDRO DE DOBLE EFECTO.....	18
3.2 SENSORES MECÁNICOS.....	19
3.3 BOTON PULSADOR.....	19
3.4 ELECTROVÁLVULA.....	20
3.5 PLC.....	20
3.6 REGULADOR DE CAUDAL.....	22
3.7 MANGUERA.....	22
3.8 FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	23
<b>4.0 METODOLOGÍA.....</b>	<b>24</b>
4.1 PROCESO Prensado de FOTOBOTONES.....	25
4.2 PARTES DEL FOTOBOTON.....	25
4.3 PARTES DEL EQUIPO MANUAL.....	25
4.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO MANUAL.....	26

---

4.5 ANÁLISIS DE TIEMPO DE CICLO PROCESO MANUAL.....	29
4.6 ANÁLISIS DE DEFECTOS E INCONFORMIDADES DETECTADAS EN EL PROCESO MANUAL.....	30
4.7 PLANEACION DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.....	32
4.8 ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DEL PROCESO.....	32
4.9 PROGRAMACIÓN DE LA SECUENCIA REQUERIDA EN EL PLC.....	35
4.10 DISEÑO MECÁNICO, ARMADO Y AJUSTE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO MANUAL..	38
<b>5.0 RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
5.1 EL EQUIPO AUTOMATIZADO.....	43
5.1.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.....	44
5.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESO AUTOMATIZADO PASO A PASO.....	49
5.3 TIEMPO DE CICLO EQUIPO AUTOMÁTICO.....	52
5.4 ANÁLISIS DE COSTO DEL EQUIPO AUTOMATIZADO.....	53
5.5 RETORNO DE LA INVERSIÓN.....	55
<b>6.0 CONCLUSIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>59</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>60</b>

## Resumen

Los fotobotones son artículos publicitarios también conocidos como *souvenir* que actualmente han tomado gran auge en la industria de las artes gráficas por ser un artículo que la gente conserva y colecciona, por ello se convierte en un excelente medio publicitario para empresas, partidos políticos y todo aquel que quiera comunicar.

Actualmente el proceso de ensamblado de estos fotobotones se realiza de manera manual con un equipo de prensado, por la naturaleza manual del proceso se tienen áreas de oportunidad como la fatiga que sufre el operador del equipo al realizar su trabajo, esta fatiga deriva en defectos en el producto terminado, ya que la presión ejercida al prensar, con el paso de las repeticiones va disminuyendo, comenzando a surgir dichos defectos.

Este proyecto tiene el objetivo de automatizar el prensado del fotoboton y los movimientos que se realizarían manualmente para ser ensamblados, cabe señalar que estos movimientos son repetitivos y tienen una secuencia específica.

Con la utilización de la electroneumática es posible automatizar este proceso haciéndolo más eficiente, estandarizado, obteniendo mayor calidad en el producto terminado y sobre todo teniendo una mayor rentabilidad en el proceso.

**Planteamiento del problema.**

El automatizar el proceso de ensamblado de fotobotones, solucionaría problemas detectados durante la ejecución del proceso, ya que al acoplar elementos electroneumáticos, sustituyendo a los manuales se lograrán eliminar problemas asociados al prensado, siendo éste el paso más crítico dentro del proceso, produciendo situaciones como son la fatiga del operador, defectos físicos en el fotoboton por la inconsistencia al momento de aplicar fuerza a través de la palanca manualmente, además de que al automatizar lograremos una estandarización de la calidad y un tiempo de ciclo más constante que nos permita hacer proyecciones sobre tiempos estimados para producciones de gran volumen.

**Antecedentes.**

Actualmente en México no existen antecedentes de equipos automatizados para el ensamblado de fotobotones ya que aunque no es un producto nuevo si es en los últimos años cuando ha tenido más participación en el mercado de los productos promocionales, en México existe poca variedad de máquinas de ensamblado manuales y ninguna automática.

Se podría tomar como referente el antecedente de automatización de este tipo de máquinas algunos equipos en otros países que han sustituido la palanca que el operador utiliza como prensa, por un cilindro neumático, pero que no pueden ser tomadas como un proceso automatizado ya que no sigue ninguna secuencia lógica en el proceso, el operador manualmente acciona este cilindro para que preense el fotoboton.

El antecedente referente en las artes gráficas es la imprenta, que en su momento se paso de la escritura e impresiones manuales a baja escala a impresiones de mayor calidad, estandarizadas y sobre todo que podían manejarse tirajes a gran escala.



## Objetivos

### OBJETIVO GENERAL.

Automatizar el proceso de ensamblado de fotobotones utilizando como base un equipo manual.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Este trabajo tiene los siguientes objetivos específicos:

- Obtener un proceso semiautomático de ensamblado de fotobotones utilizando como base un equipo manual y hacerlo más rápido que el equipo base.
- Reducir la fatiga del operador al realizar el trabajo en comparación con el proceso manual
- Reducir el tedio y la monotonía en la operación
- Realizar un análisis económico de la automatización del proceso
- Realizar un análisis de productividad de ambos sistemas (manual vs automático)
- Crear un mando bimanual para la seguridad del operador
- Reducir los defectos detectado en el proceso manual vinculados con el prensado

## **Alcances**

Automatizar modularmente el proceso de ensamblado de fotobotones utilizando equipo electroneumático, que se convertirá en una opción competitiva contra su versión manual

Alcances del proyecto:

- Utilización de un PLC como el elemento que genere la secuencia lógica del proceso.
- Implementar un sistema de seguridad (mando bimanual) para garantizar la adecuada operación del equipo.

## Justificación

Los fotobotones son un producto promocional o *souvenir* que en la actualidad han tomado mucho auge dentro de la industria de la publicidad y las artes graficas, por su poder de comunicación.

Actualmente los fotobotones son ensamblados manualmente através de una prensa, donde el operador realiza el proceso de ensamblado de las piezas que forman el fotoboton, todos estos movimientos para el ensamblado son repetitivos, ya que invariablemente son los mismos por lo tanto existe la posibilidad de automatizar estos movimientos con elementos electroneumáticos.

Según datos proporcionados por una agencia de publicidad la demanda de fotobotones en su empresa ha aumentado exponencialmente, debido a diversos factores, como la posibilidad de ser completamente personalizables a gusto del cliente en toda la superficie imprimible, algunos de sus clientes son personas organizadoras de eventos sociales que usan estos botones como recuerdo de su evento, empresas que buscan publicitarse por medio de ellos, y en estas fechas partidos políticos usándolos como propaganda para inducir al voto.

Debido a la situación de la demanda, se detecta que en todos los casos la cantidad de fotobotones que realiza la empresa son muchos, teniendo un rango desde 100 y hasta 20000 piezas, debido al tipo de proceso y a la cantidad de productos a realizar, la automatización se convierte en una herramienta clave para hacer éste proceso más productivo.

El impacto de la automatización de este proyecto se reflejaría de manera inmediata, ya que el objetivo es hacer una automatización modular que pueda ser operada con un mínimo de capacitación, un costo accesible y recuperable para el sector de mercado que maneja el proceso.

De ésta forma resulta interesante el desarrollo del proyecto al no existir antecedente en México de un equipo similar, que aplique el uso de un controlador (PLC) para el manejo de la secuencia de los movimientos.

## 1.0 INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de productos de calidad a precios competitivos ha llevado a las empresas que desean participar de esta demanda a mejorar sus procesos, y hacerlos más eficientes.

La automatización de procesos es una herramienta innovadora y muy poderosa cuando se quiere ser más productivo, eficiente y obtener mayor calidad en procesos de producción, en específico la automatización electroneumática en los últimos años en el mundo ha tomado un auge muy importante, por los múltiples beneficios que brinda, basta con observar cualquier proceso industrial de gran escala y observaremos un alto nivel de automatización y en su mayoría se trata de automatización electroneumática.

La automatización del proceso de prensado de fotobotones es susceptible de ser automatizada ya que según observaciones es un proceso repetitivo, tedioso y que genera fatiga en el operador, además de no agregar ningún valor el que éste sea manual.

En cuanto al volumen de repeticiones del proceso, se observó que como mínimo se realizan 100 repeticiones, teniendo una media de 500 y pudiendo llegar hasta los 20000 fotobotones siendo los principales clientes partidos políticos en campaña y empresas que requieren publicitarse.

A causa de esto y de la falta de maquinaria automatizada de esta naturaleza, surge la necesidad de diseñar y construir una máquina semiautomatizada, de fácil manejo, que permita aumentar el ensamblaje de botones publicitarios, e incrementar la productividad del proceso.

## 2.0 MARCO TEORICO

En este capítulo se presentaran algunas definiciones y consideraciones teóricas que nos ayudarán a tener una idea más clara sobre los principios y fundamentos, las cuales se tomaran en cuenta durante el desarrollo de esta investigación.

### 2.1 FOTOBOTONES.

Los fotobotones es un elemento publicitario que está conformado por una lámina frontal y una lámina anterior con un pin para ser sujeto, en la parte frontal se coloca la impresión de la imagen que se desea que tenga el fotoboton y después se coloca una lámina de plástico mylar que protege la imagen, todas estas partes son prensadas en un equipo manual, quedando listo.

No se conoce con exactitud a cerca de la creación del botón publicitario pero se sabe que fue en los Estados Unidos en la década de los 60's, y desde su creación la publicidad comercial ha sido su principal función, en la actualidad se usa también como recuerdo para eventos sociales o deportivos entre otros.

### 2.2 MÁQUINA PRENSADORA DE FOTOBOTONES

Este primer tipo de máquinas tiene un diseño y un funcionamiento bastante simple, y muy ineficiente. Esta máquina se compone básicamente de una palanca por medio de la cual el operador aplica la fuerza que la máquina usa para ensamblar los botones, y de 2 copas en las cuales se depositan los materiales de forma manual y secuencial con los que se elaboran los botones. <sup>[3]</sup>

## 2.3 FATIGA

La fatiga, podemos definirla como el agotamiento corporal o mental que se produce como consecuencia de un trabajo o de un esfuerzo, y que se caracteriza por la incapacidad para realizar tareas físicas con el ritmo o con la fuerza habituales, y por una mayor lentitud de los procesos racionales que pueden ocasionar un fallo de memoria.

También se utiliza el término fatiga para describir la menor sensibilidad para las sensaciones de un receptor sensorial, como puede ser el ojo. Cuando se hace resaltar de forma continua una superficie de color rojo, la retina se fatiga debido a la prolongada exposición al color rojo, y la superficie se vuelve gris. Ocurre lo mismo con los oídos. Un ruido prolongado, que se escucha de forma continua, se hace menos intenso a causa de la fatiga de los procesos que tienen lugar en el oído interno. Un esfuerzo mental continuo produce lo que se denomina fatiga mental; esto ocurre por ejemplo cuando se trabaja sobre un problema determinado durante mucho tiempo.

Desde el punto de vista de la Seguridad e Higiene Industrial, vemos a la fatiga como un elemento que en forma transitoria puede alterar el estado psíquico-físico del trabajador, siendo el reflejo de los efectos de un trabajo prolongado, con sus respectivas consecuencias sobre el individuo. Este estado de ánimo que comporta modificaciones fisiológicas del cuerpo o cansancio psicológico, como consecuencia de lo cual se presenta la disminución del rendimiento en el trabajo, tiene una influencia negativa en la producción, ya que la fuerza de trabajo disminuye y el rendimiento baja, pudiendo provocar accidentes laborales, lo que se traduce en pérdidas de tiempo, de material, disminución en la producción y otros gastos.

Podemos distinguir dos tipos de fatiga, según W. T. Singleton en su obra Principios de Ergonomía:

1. Fisiológica, asociada al aporte de energía muscular y eliminación de toxinas. Como factores que la producen en forma general podemos nombrar la

insuficiencia del régimen alimenticio (a mayor actividad, mayor necesidad de alimentación), insuficiencia de oxígeno (lugares con poca ventilación), etc., y a nivel local la contracción de músculos y tendones ( por movimientos repetitivos), insuficiencia de flujo sanguíneo (excesivo tiempo en una misma posición).

2. Psíquica, manifestada por sensaciones de laxitud, cambios en la moral y otros síntomas de la persona. Este tipo de fatiga proviene fundamentalmente por la falta de motivación de los individuos, y acarrea aburrimiento e introversión, también es muy importante la falta de comunicación o información.

Como vemos, se produce un posible mal funcionamiento del sistema Hombre-Máquina-Entorno, siendo los causantes de la fatiga las siguientes relaciones:

Teniendo en cuenta una tarea fatigante:

**Hombre-Entorno:** Malas condiciones ambientales, comunicación mala e incompleta, factores sociológicos negativos, factores de organización en controversia.

**Hombre-Máquina:** Asignación errónea, comunicación incompleta, estereotipos no funcionales, exceso de carga de trabajo, tarea no definida, falta de seguridad.

**Máquina-Entorno:** Mala disposición de plantas, mala distribución del equipo, medidas de seguridad incompletas, desadaptación máquina-ambiente. <sup>[5]</sup>

## 2.4 ELEMENTOS FÍSICOS DE LA AUTOMATIZACIÓN

### 2.4.1 El aire

La superficie del globo terrestre está rodeada de una envoltura aérea. Esta es una mezcla indispensable para la vida y tiene la siguiente composición:

-Nitrógeno aprox. 78% en volumen.



-Oxígeno aprox. 21% en volumen.

-Otros gases 1%.

### 2.4.2 PRESIÓN

La presión es el cociente entre la fuerza y su superficie de acción  $p = f/A$ , si la fuerza no es uniforme la relación será:

$$P = \frac{d}{F} / \frac{d}{A}$$

En todo punto de la atmósfera existe una determinada presión dependiendo de la altura y las condiciones meteorológicas y se conoce como presión atmosférica y se mide con un instrumento llamado barómetro. Esta presión es igual al peso del aire sobre la sección de área en la actúa.

La unidad de medida de presión más frecuente es el BAR.

### 2.4.3 CAUDAL

El caudal es la cantidad de flujo que pasa por una sección dada en una unidad de tiempo. Esta cantidad se puede expresar en masa o volumen. El caudal másico por lo general se expresa en kg/s y el caudal volumétrico se expresa en l/min o  $m^3/h$ .

## 2.5 NEUMÁTICA

El concepto moderno de neumática trata los fenómenos y aplicaciones de la sobrepresión o depresión del aire. La mayoría de las aplicaciones neumáticas se basan en el aprovechamiento de la sobre presión.

Según su actual definición, la neumática es una técnica moderna, pero según su concepción original es una de las formas más antiguas de energía entre las conocidas por el hombre. Existen manuscritos del siglo I de nuestra era donde se describen mecanismos accionados por aire caliente.

La neumática moderna, con sus grandes posibilidades, se inicia en Europa a partir de la mitad del siglo XX debido a la acuciante necesidad de una automatización en el trabajo desde entonces la neumática ha ido evolucionando y lo seguirá haciendo según las necesidades de la industria.

### 2.5.1 POTENCIA NEUMÁTICA

El aire comprimido es un vehículo a través del cual se transmite potencia de una fuente exterior de energía.

La potencia instantánea consumida por un receptor es igual al producto de fuerza por velocidad. Por ejemplo para un cilindro la expresión de potencia será:

$$N = F(v) = (P * A) * \left(\frac{Q}{A}\right) = Q * P$$

Leyes fundamentales de los gases perfectos

Ley de Boyle-Mariotte:

A temperatura constante el producto de la presión a la que está sometido un gas por el volumen que ocupa se mantiene constante.

$$P1 * V1 = P2 * V2 = CTE$$

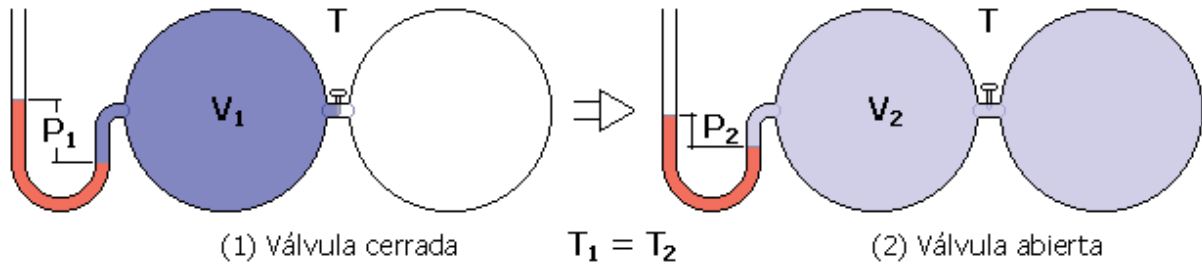


Figura 2.1 Ejemplo de la Ley de boyle-mariotte.

Ley de Charles- Gay Lusac

La relación entre el volumen de un gas y su temperatura, al pasar de un estado a otro es constante.

$$V_1 = V_2 = V_3 = CTE$$

$$T_1 = T_2 = T_3$$

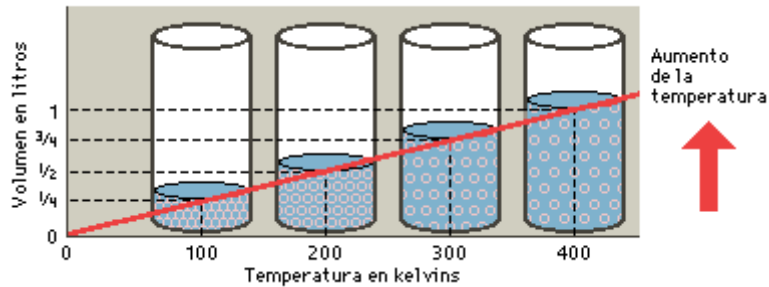


Figura 2.2 Ejemplo de la ley Charles- Gay Lusac

Ley de los gases ideales

El volumen de un gas, a una temperatura y presión dadas, es directamente proporcional al número de moles que contiene:

$$V = k * n$$

De la formula anterior se puede deducir que el volumen de un gas es directamente proporcional a su temperatura y al número de moles e inversamente proporcional a la presión, entonces:

$$V = Rn * t$$

Donde R es la constante de proporcionalidad de los gases.

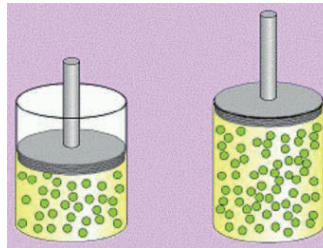


Figura 2.3 Ejemplo de la ley de los gases ideales.

## 2.6 EL AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre, El primero del que sabemos con seguridad que se ocupó de la neumática, fue el griego Ktesibios. Hace más de dos mil años, construyó una catapulta de aire comprimido.

Como derivación de la palabra "Pneuma" se obtuvo, entre otras cosas el concepto Neumática que trata los movimientos y procesos del aire.

Ventajas de la Neumática:

- El aire es de fácil captación y abunda en la tierra
- El aire no posee propiedades explosivas, por lo que no existen riesgos de chispas.
- Los actuadores pueden trabajar a velocidades razonablemente altas y fácilmente regulables.

- El trabajo con aire no daña los componentes de un circuito por efecto de golpes de ariete.
- Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen los equipos en forma permanente.
- Los cambios de temperatura no afectan en forma significativa.
- Energía limpia.
- Cambios instantáneos de sentido.

Desventajas de la neumática:

- En circuitos muy extensos se producen pérdidas de cargas considerables.
- Requiere de instalaciones especiales para recuperar el aire previamente empleado.
- Las presiones a las que trabajan normalmente, no permiten aplicar grandes fuerzas.
- Altos niveles de ruido generado por la descarga del aire hacia la atmósfera. <sup>[2]</sup>

### 2.6.1 Producción del aire comprimido

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central. Entonces no es necesario calcular ni proyectar la transformación de la energía para cada uno de los consumidores. El aire comprimido viene de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de tuberías.

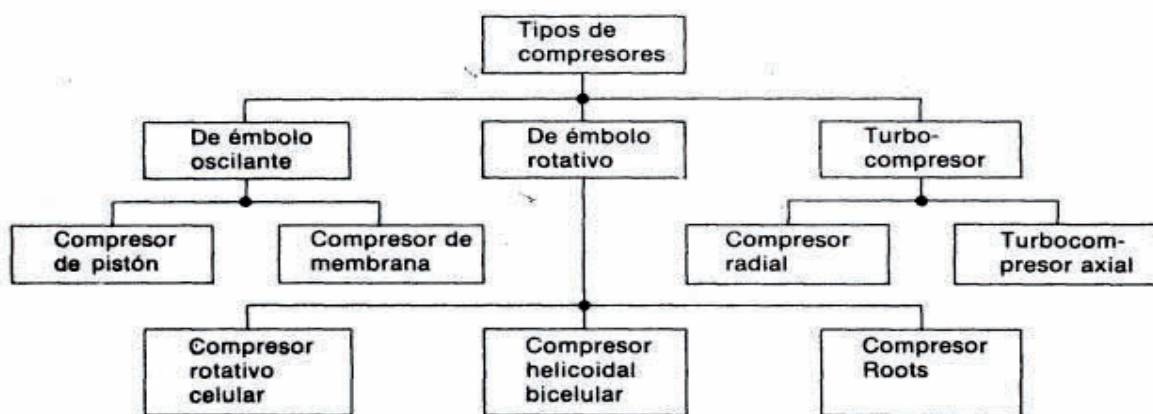


Figura 2.4 Clasificación de los compresores.

## 2.7 Compresores

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. La elección del compresor depende de la presión de trabajo y de la cantidad de aire necesaria para la línea. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central. En el momento de planear es necesario prever un tamaño superior de la red, con el fin de poder alimentar aparatos neumáticos nuevos que se adquieran en el futuro. Por ello, es necesario sobredimensionar la instalación, con el fin de que el compresor no resulte más tarde insuficiente, puesto que toda adaptación posterior en el equipo genera consumo de aire y por consiguiente no se trabajaría a una adecuada presión.

### 2.7.1 TIPOS DE COMPRESORES

#### Compresor de émbolo

Este compresor aspira el aire a la presión atmosférica y luego lo comprime. Se compone de las válvulas de admisión y escape, émbolo y biela-manivela. Admisión: El árbol gira en el sentido del reloj. La biela desciende el émbolo hacia abajo y la válvula de admisión deja entrar aire  $10^\circ$  después del punto muerto superior, hasta el punto muerto inferior. Escape: En el punto muerto inferior la válvula se cierra, y al ascender el émbolo se comprime el aire. Bajo el efecto de la presión, se abre y circula el aire comprimido hacia el consumidor.

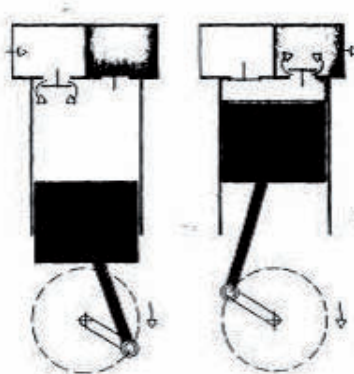


Figura 2.5 Compresor de émbolo.

### Compresor de émbolo de dos etapas

El movimiento molecular, provoca una elevación de la temperatura: Ley de transformación de la energía. Si se desean obtener presiones mayores es necesario disminuir la temperatura. En este tipo de compresores existe una cámara de enfriamiento del aire antes de pasar a la segunda compresión.

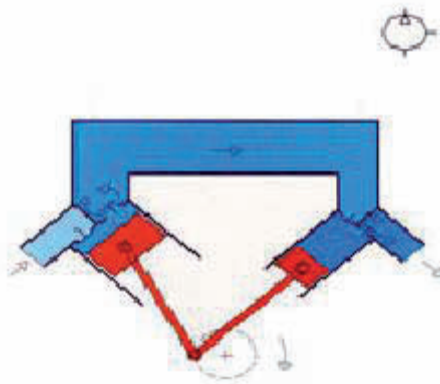


Figura 2.6 Compresor de émbolo de dos etapas.

### Compresor de émbolo, de dos etapas, doble acción

La compresión se efectúa por movimiento alternativo del émbolo. El aire es aspirado, comprimido, enfriado y pasa a una nueva compresión para obtener una presión y rendimiento superior.

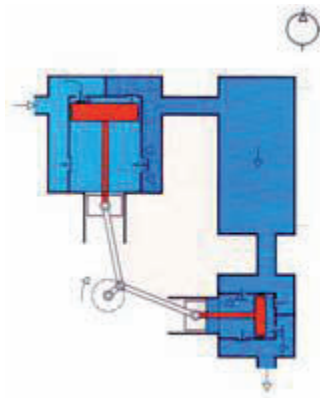


Figura 2.7 Compresor de émbolo, de dos etapas, doble acción.

### Compresor de émbolo con membrana

El funcionamiento es similar al del compresor de émbolo. La aspiración y compresión la realiza la membrana, animada por un movimiento alternativo. El interés de este compresor radica en la ausencia de aceite en el aire impulsado por este tipo.

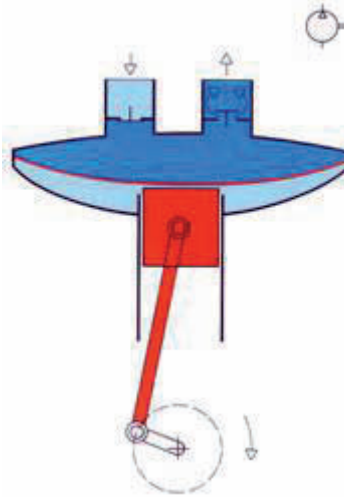


Figura 2.8 Compresor de émbolo con membrana.

### Compresor radial de paletas

Un rotor excéntrico, dotado de paletas gira en un alojamiento cilíndrico. La estanqueidad en rotación se asegura por la fuerza centrífuga que comprime las paletas sobre la pared. La aspiración se realiza cuando el volumen de la cámara es grande y resulta la compresión al disminuir el volumen progresivamente hacia la salida. Pueden obtenerse presiones desde 200 a 1000 kPa (2 a 10 bar), con caudales entre 4 y 15 m<sup>3</sup>/min.

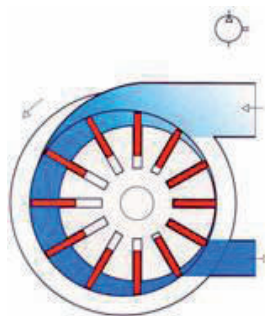


Figura 2.9 Compresor radial de paletas.



### Compresor de tornillo

La aspiración y la compresión se efectúan por dos tornillo, uno engrana en el otro. La compresión se realiza axialmente. Pueden obtenerse a presiones de 1000kPa (10 bar) caudales entre 30 a 170 m<sup>3</sup>/min.

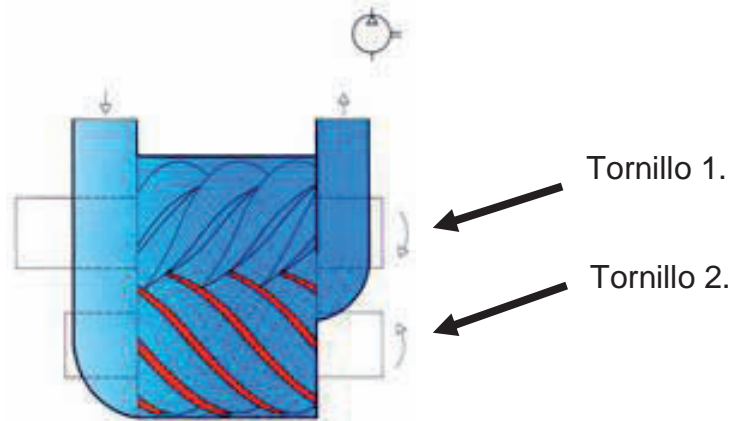


Figura 2.10 Compresor de tornillo.

### Compresor Roots

Dos llaves que giran en sentido inverso encierran cada vuelta un volumen de aire entre la pared y su perfil respectivo. Este volumen de aire es llevado al fin del giro a la presión deseada.

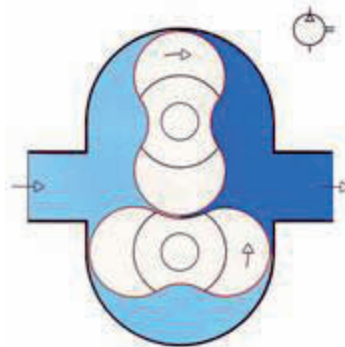


Figura 2.11 Compresor Roots.

## Turbo compresor

Este tipo de compresor es una turbina de tres etapas. El aire es aspirado, y su presión se eleva en cada etapa 1.3 veces aproximadamente.

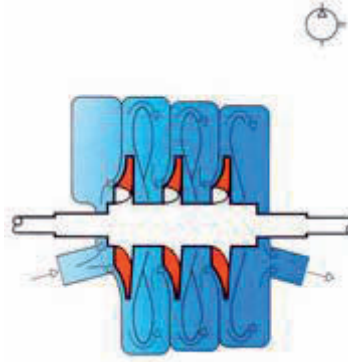


Figura 2.12 Turbocompresor.

## Turbocompresor radial

El aire aspirado axialmente es introducido a una velocidad muy alta. La compresión tiene lugar radialmente. Este tipo de compresor es recomendable cuando se desean grandes caudales. Entre las diferentes etapas hay que tener previsto las cámaras de enfriamiento.

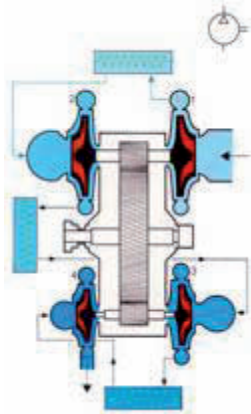


Figura 2.13 Turbocompresor radial.

## Turbocompresor axial

Este tipo de compresor funciona con el principio del ventilador. El aire es aspirado e impulsado simultáneamente. Las presiones son muy bajas, pero los caudales pueden ser muy elevados. <sup>[1]</sup>

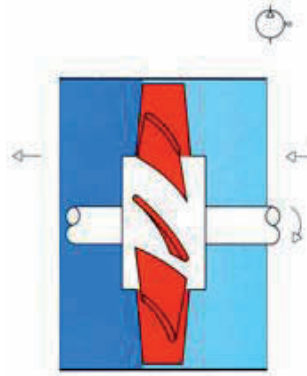


Figura 2.14 Turbocompresor axial.

## 2.8 ELECTRONEUMÁTICA

La Electroneumática es una de las técnicas de automatización que en la actualidad viene cobrando vital importancia en la optimización de los procesos a nivel industrial.

Su evolución fue a partir de la neumática, disciplina bastante antigua que revolucionó la aplicación de los servomecanismos para el accionamiento de sistemas de producción industrial.

Con el avance de las técnicas de electricidad y la electrónica se produjo la fusión de métodos y dando así el inicio de los sistemas electroneumáticos en la industria, los cuales resultaban más compactos y óptimos a diferencia de los sistemas puramente neumáticos.

## 2.9 AUTOMATIZACIÓN

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando
- Parte Operativa

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera.

La Parte de Mando suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. <sup>[2]</sup>

### 2.9.1 Objetivos de la automatización

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.

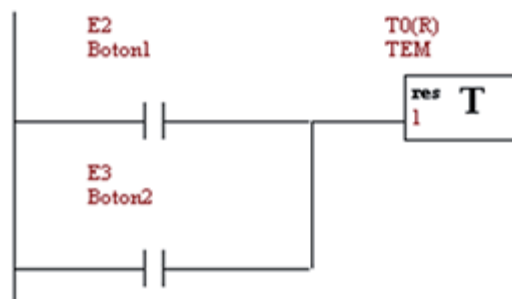
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.

## 2.10 MANDO BIMANUAL

El mando bimanual es un modulo de seguridad que permite generar una señal neumática, llamada "S", siempre que las señales de entrada, "a" y "b" aparezcan simultáneamente y sin existir un desfase de tiempo

Este módulo es imprescindible para la protección de las dos manos de un operador, en una máquina o puesto de trabajo en la cual exista un riesgo de atrapamiento o aplastamiento. Esta acción evita los riesgos al exigir una acción casi simultánea sobre los dos mandos manuales.

Según la Norma Europea EN 574 este tipo de sistema bimanual de seguridad se situará obligatoriamente fuera de la zona peligrosa o con riesgo de accidente a fin de que el operador no pueda alcanzar esta zona antes de la parada completa de la máquina. <sup>[6]</sup>



*Figura 2.15 Mando bimanual*

### 3.0 REVISIÓN TÉCNICA

A continuación se realizará una revisión técnica de los diferentes instrumentos eléctricos, neumáticos y electroneumáticos utilizados para la automatización del prensado del equipo de fotobotones.

#### 3.1 Cilindro de doble efecto.

Los cilindros de doble efecto 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.

Sus componentes internos son prácticamente iguales a los de simple efecto, con pequeñas variaciones en su construcción. Algunas de las más notables las encontramos en la culata anterior, que ahora ha de tener un orificio roscado para poder realizar la inyección de aire comprimido (en la disposición de simple efecto este orificio no suele prestarse a ser conexionado, siendo su función la comunicación con la atmósfera con el fin de que no se produzcan contrapresiones en el interior de la cámara).

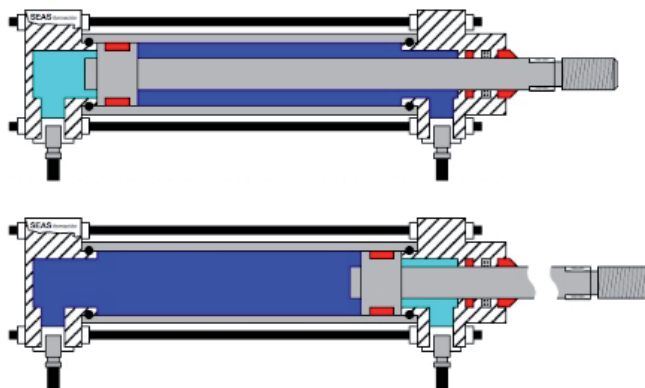


Figura 3.1 Cilindro neumático doble efecto

### 3.2 *SENSORES MECÁNICOS*

Estos interruptores son empleados, generalmente como sensores para detectar presencia o ausencia de algún elemento por medio del contacto mecánico entre el interruptor y el elemento detectado.



Figura 3.2 Sensor mecánico con rodillo

### 3.3 *BOTON PULSADOR*

Un botón o pulsador es un dispositivo utilizado para activar alguna función. Los botones son de diversa forma y tamaño y se encuentran en todo tipo de dispositivos, aunque principalmente en aparatos eléctricos o electrónicos. Los botones son por lo general activados al ser pulsados, normalmente con un dedo.

Un botón de un dispositivo electrónico, funciona por lo general como un interruptor eléctrico, es decir en su interior tiene dos contactos, uno, si es un dispositivo NA (normalmente abierto) o NC (normalmente cerrado), con lo que al pulsarlo se activará la función inversa de la que en ese momento este realizando.



Figura 3.3 botón Pulsador

### 3.4 ELECTROVÁLVULA

Son el dispositivo medular de un circuito electroneumático, estas válvulas realizan la conversión de energía eléctrica proveniente de los relevadores a energía neumática, transmitida a los actuadores o alguna otra válvula.

Esencialmente constan de una válvula neumática a la cual se le adhiere una bobina por la que se hace pasar una corriente para generar un campo magnético que finalmente produce la conmutación en la corredera interna de la válvula, creando así el cambio de estado de trabajo de la misma, modificando las líneas de servicio.

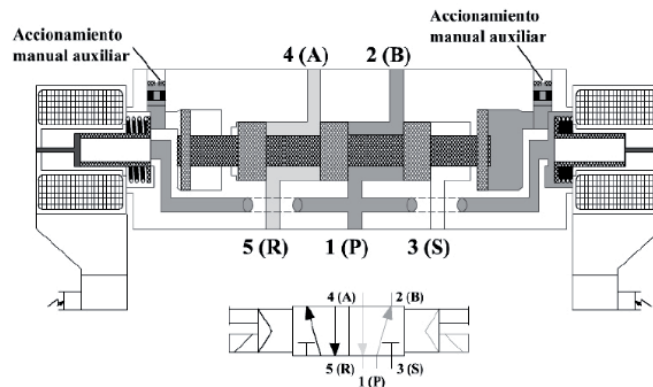


Figura 3.4 diagrama válvula 5/2 vías pilotaje eléctrico

### 3.5 PLC

El término PLC proviene de las siglas en inglés para *Programmable Logic Controller*, que traducido al español se entiende como “Controlador Lógico Programable”. Se trata de un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con cierta información acerca de los procesos que se quiere secuenciar. Esta



información es recibida por captadores, que gracias al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

Un PLC es un equipo comúnmente utilizado en maquinarias industriales de fabricación de plástico, en máquinas de embalajes, entre otras; en fin, son posibles de encontrar en todas aquellas maquinarias que necesitan controlar procesos secuenciales, así como también, en aquellas que realizan maniobras de instalación, señalización y control.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se elaboran y envían datos de acción a los pre accionadores y accionadores. Además cumplen la importante función de programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

Dentro de las ventajas que estos equipos poseen se encuentra que, gracias a ellos, es posible ahorrar tiempo en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales.



Figura 3.5 PLC Festo FEC 34

### 3.6 REGULADOR DE CAUDAL

Las válvulas de regulación de caudal restringen el paso del aire a presión en ambas direcciones, las válvulas de estrangulación suelen ser regulables. El ajuste correspondiente puede ser fijado. Las válvulas de estrangulación son utilizadas para controlar la velocidad de los cilindros, deberá ponerse atención que este tipo de válvulas nunca esté cerrada del todo. [2]



Figura 3.6 Regulador de caudal

### 3.7 MANGUERA

La manguera o *tubing* es el elemento por el cual se interconectan los elementos de trabajo (cilindros y electroválvulas) y a través de esta manguera fluye el aire a presión que hará generar el trabajo de los cilindros neumáticos, están compuestas de materiales plásticos de alta resistencia, para poder soportar el la presión requerida.



Figura 3.7 manguera de alta presión

### 3.8 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de poder es una fuente eléctrica, un artefacto activo que puede proporcionar corriente eléctrica gracias a la generación de una diferencia de potencial entre sus bornes. Se diseña a partir de una fuente ideal, que es un concepto utilizado en la teoría de circuitos para analizar el comportamiento de los componentes electrónicos y los circuitos reales.

La fuente de alimentación se encarga de convertir la tensión alterna en una tensión casi continua. Para esto consta de un rectificador, fusibles y otros componentes que le permiten recibir la electricidad, regularla, filtrarla y adaptarla a las necesidades del equipo a conectar.

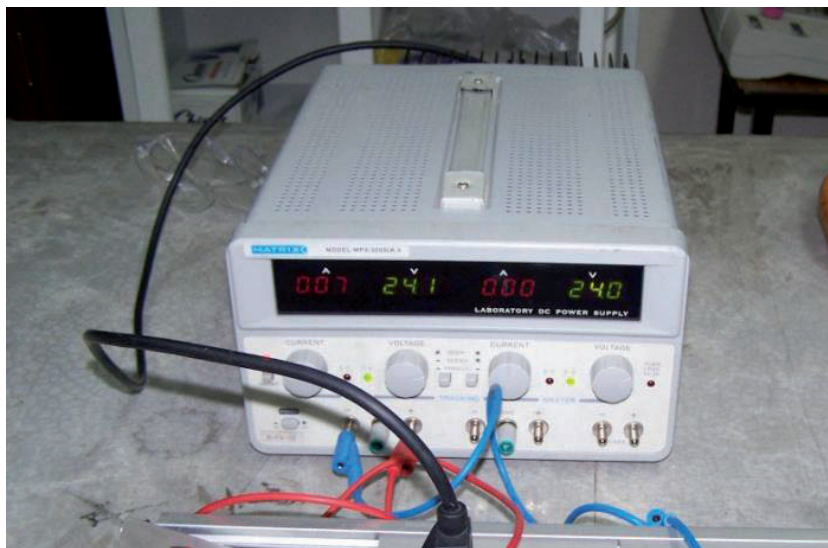


Figura 3.8 Fuente regulable.

## 4.0 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto es necesario hacer un análisis de la metodología que se seguirá para poder lograr los objetivos planteados, esta metodología consta de los pasos secuenciales que fueron llevados a cabo, tales como el diseño de las pieza que serán incluidas al equipo manual para poder automatizarlo, así como la descripción de los procesos original y automático para poder hacer una comparativa y obtener los resultados.

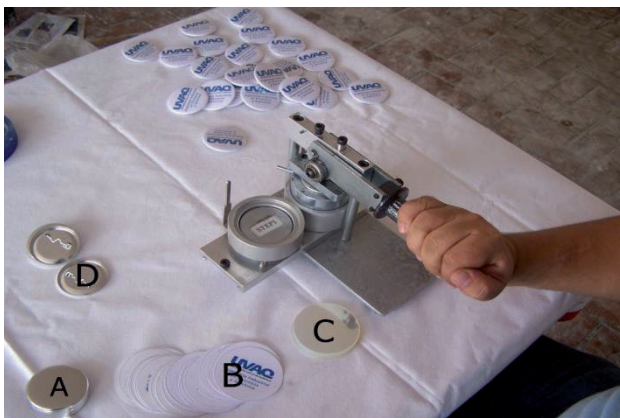
A continuación se menciona una lista del desarrollo del proyecto, que serán desplegados cada uno a través del capítulo.

- Proceso de prensado de fotobotones.
- Descripción del proceso manual.
- Análisis de tiempo de ciclo proceso manual.
- Análisis de defectos e inconformidades durante el proceso manual.
- Planeación de la automatización del proceso.
- Análisis de los movimientos del proceso.
- Programación de la secuencia requerida en el PLC.
- Diseño mecánico, armado y ajuste para la automatización del equipo manual.

## 4.1 PROCESO Prensado DE FOTOBOTONES

Este proceso es llamado de esta manera porque la parte medular del proceso es el prensado, para crear un fotoboton es necesario ensamblar todas sus partes por medio de la prensa, a continuación se detallará los pasos secuenciales del proceso para analizarlos y poder definir las partes del proceso a automatizar.

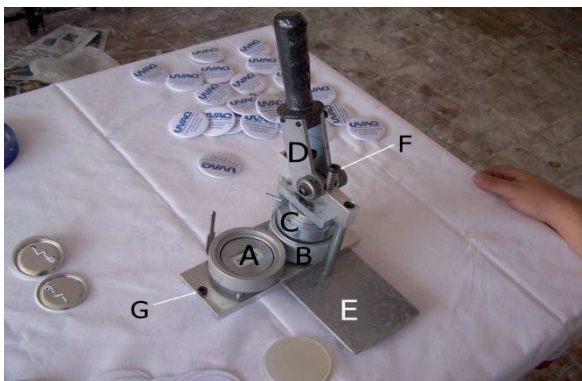
## 4.2 PARTES DEL FOTOBOTON



- a) Parte frontal del fotoboton que será forrada con la imagen impresa en un papel y un plástico
- b) Impresión en papel (diseño)
- c) Plástico mylar (protector del diseño)
- d) Parte trasera del botón con un pin para ser prendido en la ropa.

Figura 4.1 Partes del fotoboton.

## 4.3 PARTES DEL EQUIPO MANUAL



- a) Base A
- b) Base B
- c) Copa magnética de la prensa
- d) Palanca
- e) Base del equipo
- f) Tornillos tensores de presión
- g) Base móvil para trasladar las bases

Figura 4.2 Partes del equipo manual.

#### 4.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO MANUAL



##### Paso 1.

Se coloca la parte frontal del fotoboton en la base A, la base tiene la forma del herraje (la parte frontal).

Figura 4.3 Paso 1.



##### Paso 2

El segundo paso, es colocar sobre la parte frontal del fotoboton (paso 1) la impresión que deseamos que lleve el fotoboton, y después se coloca sobre la impresión un círculo de plástico mylar que al quedar prensado protegerá la impresión.

Figura 4.4 Paso 2.





### Paso 3

Se corre la base móvil para posicionar la base A bajo la prensa, la base móvil está diseñada para que la carrera total a la izquierda. Se posiciona exactamente bajo la prensa y si se corre la base móvil completamente a la derecha se posiciona para prensar la base B.

Figura 4.5 Paso 3.



### Paso 4

Se prensa la base A. Al prensar la base A, la copa magnética con la que prensa la palanca recoge la parte frontal del botón, así la impresión y el plástico son trasladados a la base B.

Figura 4.5 Paso 4.



### Paso 5

Una vez prensada la base A se coloca la parte trasera del botón en la base B, que al igual que la base A tiene la forma exacta del herraje.

Figura 4.6 Paso 5.



#### Paso 6

Una vez colocada la parte trasera en la base B se corre la base móvil para hacer coincidir la base B, en este paso ya se encuentran posicionadas todas las partes del fotoboton, en la base B la parte trasera y en la parte superior (en la copa magnética) lo procesado en la base A

Figura 4.7 Paso 6.



#### Paso 7

Ya colocadas todas las partes del fotoboton en su sitio se prensa en la posición de la base B

Figura 4.8 Paso 7.

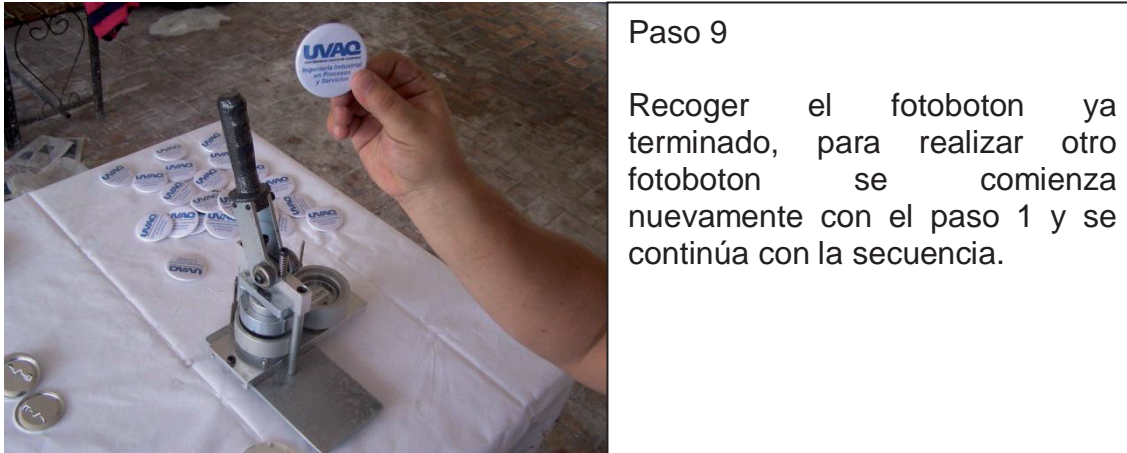


#### Paso 8

Una vez prensadas todas las partes del fotoboton se corre la base móvil a la posición de la base A para poder liberar el fotoboton ya terminado, al correr la base a la posición A inmediatamente veremos el fotoboton terminado en la base B.

Figura 4.9 Paso 8.





### Paso 9

Recoger el fotoboton ya terminado, para realizar otro fotoboton se comienza nuevamente con el paso 1 y se continúa con la secuencia.

Figura 4.10 Paso 9.

## 4.5 ANÁLISIS DE TIEMPO DE CICLO PROCESO MANUAL

En la tabla 4.1 se observa el tiempo de ciclo en función del número de repeticiones, donde se nota un aumento en el tiempo de ciclo conforme aumentan las repeticiones, de esto se puede inferir, que debido a la fatiga que sufre el operador al pensar, aumenta el tiempo de ciclo, por esta razón se justifica la automatización del proceso del prensado, debido a la naturaleza de la operación este tiempo de ciclo seguirá aumentando ya que por el tipo de producto 100 piezas son la mínimas que se procesan y pudiendo llegar a las 20,000 piezas.

Tabla 4.1 Tempo de ciclo proceso manual

# de ciclos	tiempo de ciclo
0-50	18 segundos
50 - 100	20 segundos
100 - 150	20 segundos
150 - 200	26 segundos

Tabla 4.2 Gráfica del análisis del tiempo de ciclo del proceso manual.



#### ***4.6 ANÁLISIS DE DEFECTOS E INCONFORMIDADES DETECTADAS EN EL PROCESO MANUAL.***

Durante la ejecución del proceso de prensado de fotobotones se observó que debido a que la aplicación de la fuerza ejercida por el operador no es constante se tienen defectos porque no se aplica la fuerza necesaria para poder tener un producto conforme, estos defectos, que se ilustran a continuación, representan una pérdida al convertirse todos estos productos en desperdicio, ya que una vez prensado no es posible reutilizarse.



Figura 4.11 En esta imagen se observa un fotoboton con defecto, no fue prensado adecuadamente, se puede observar que el plástico protector quedó por fuera del prensado, al automatizar el prensado estos defectos se van a eliminar ya que la fuerza de la prensa es constante.



Figura 4.12 En esta figura se observa otro defecto vinculado al prensado, de igual forma no se prensó adecuadamente, aquí se observa el papel y el plástico por fuera del herraje.

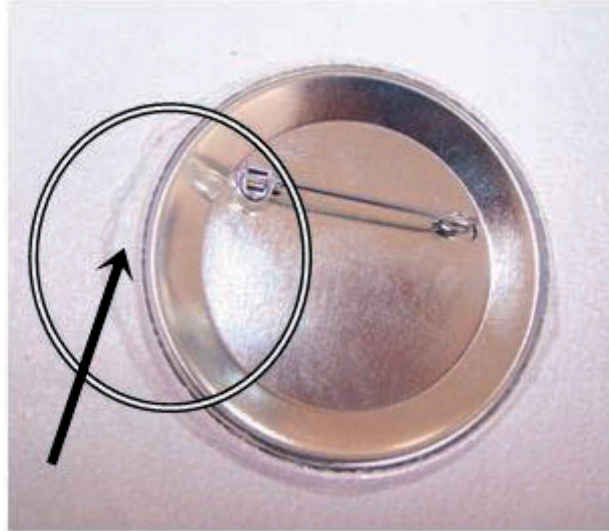


Figura 4.13 Botón mal prensado visto por la parte trasera. Este tipo de botones se convierten en desperdicio, no es posible volverlos a utilizar para este proceso.

#### *4.7 PLANEACION DE LA AUTOMATIZACION DEL PROCESO*

Para la automatización del proceso de prensado de fotobotones es necesario hacer un análisis de los movimientos que se generan al momento de repetir un ciclo, este análisis pretende identificar los movimientos que serán automatizados, si bien es cierto que una automatización total sería posible mediante equipo robotizado, por la naturaleza del proceso no es posible considerarla, esto nos lleva a este análisis dónde se seleccionaran los movimientos que presenten una fatiga o un peligro para el operador y serán automatizados mediante elementos electroneumáticos.

#### *4.8 ANÁLISIS DE LOS MOVIMIENTOS DEL PROCESO*

A continuación se describe específicamente los movimientos realizados por la máquina para la creación de un fotoboton, con el objetivo de identificar los que serán automatizados.

### Movimiento 1

Después de colocar sobre la base a la parte frontal del botón la imagen y el plástico, como ya se mencionó anteriormente, el primer movimiento es deslizar la base móvil a la derecha para posicionar la prensa en la base A, este movimiento será automatizado con un cilindro neumático de doble efecto accionado por una electroválvula.



Figura 4.14 Movimiento 1 desplazamiento de la base móvil.

### Movimiento 2

Ya que se encuentra la base móvil en la base A, el segundo movimiento es prensar la primer parte del fotoboton, este movimiento también será automatizado por un cilindro neumático y accionado por una electroválvula.



Figura 4.15 Movimiento 2 Prensado en la base A.



### Movimientos 3 y 4

Después del prensado del movimiento 2 es necesario mover la palanca hacia arriba como se muestra en la figura 4.16 con el movimiento 3 para liberar la base móvil.

Después con la base móvil liberada es necesario correr la base móvil hacia la derecha con el movimiento 4 para posicionar la base móvil con la base B bajo la prensa.



Figura 4.16 Movimientos 3 y 4.

### Movimiento 5 y 6

Los movimientos 5 y 6 son los penúltimos del ciclo, el movimiento 5 es el prensado en la base B, que es donde se unen las parte delantera con la imagen y el plástico previamente prensada con la parte trasera del botón para la conformación total del mismo, el movimiento 6, es solo levantar la palanca para liberar la base móvil.



Figura 4.17 Movimiento 5 y 6.

### Movimiento 7

El séptimo movimiento es el último, es deslizar la base móvil hacia la izquierda para poder liberar la base B, y por último tomar el fotoboton ya terminado, de estos movimientos solo restaría volver a posicionar la base móvil en posición de inicio para volver a comenzar el ciclo.



Figura 4.18 Movimiento 7.

## 4.9 PROGRAMACIÓN DE LA SECUENCIA REQUERIDA EN EL PLC

En la actualidad para la automatización de cualquier mecanismo resulta necesario el uso de un PLC por las ventajas que ya se han mencionado en anteriores capítulos, en el proceso estudiado es fundamental su uso, ya que es un proceso secuencial y resulta necesario que las partes se encuentren posicionadas de forma adecuada, de lo contrario se corre el peligro de estropear el equipo.

La siguiente secuencia fue programada de acuerdo al estudio de movimientos identificados para realizar la automatización, estos movimientos al ser una automatización modular o semiautomatización, se realiza una combinación de movimientos manuales como electroneumáticos.

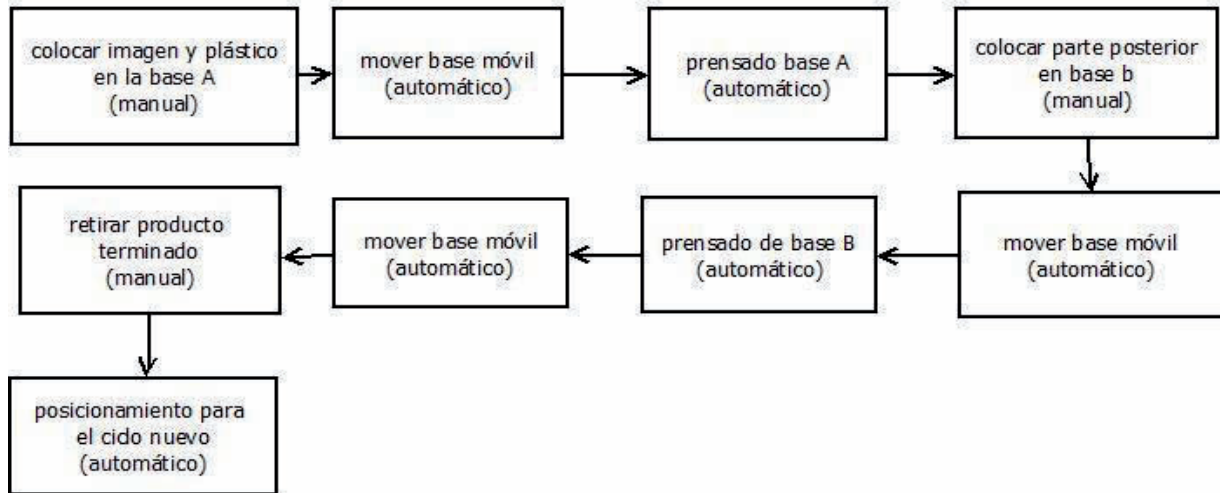


Figura 4.19 Diagrama de proceso

### Secuencia programada en el PLC

```

STEP 1
  IF      boton1      'boton1
    AND   boton2      'boton 2
    AND   sia         'sensor inicio de a
    AND   sib         'sensor inicio de b
  THEN SET  baa       'bobina avance de a
STEP 2
  IF      sfa         'sensor final de a
    AND   sib         'sensor inicio de b
  THEN RESET baa      'bobina avance de a
         SET  bab     'bobina avance de b
STEP 3
  IF      sfa         'sensor final de a
    AND   sfb         'sensor final de b
  
```



```
THEN RESET      bab      'bobina avance de b
                SET      brb      'bobina retroceso de b
STEP 4
IF              sfa      'sensor final de a
                AND      sib      'sensor inicio de b
                AND      boton1   'boton1
                AND      boton2   'boton 2
THEN RESET      brb      'bobina retroceso de b
                SET      bra      'bobina retroceso de a
STEP 5
IF              sia      'sensor inicio de a
                AND      sib      'sensor inicio de b
THEN RESET      bra      'bobina retroceso de a
                SET      bab      'bobina avance de b
STEP 6
IF              sia      'sensor inicio de a
                AND      sfb      'sensor final de b
THEN RESET      bab      'bobina avance de b
                SET      brb      'bobina retroceso de b
STEP 7
IF              sia      'sensor inicio de a
                AND      sib      'sensor inicio de b
THEN RESET      brb      'bobina retroceso de b
                SET      baa      'bobina avence de a
STEP 8
IF              sfa      'sensor final de a
                AND      sib      'sensor inicio de b
                AND      boton1   'boton1
                AND      boton2   'boton 2
THEN RESET      baa      'bobina avence de a
                SET      bra      'bobina retroceso de a
STEP 9
THEN RESET      bra      'bobina retroceso de a
                JMP TO 1
```

Diagrama electroneumático del proceso

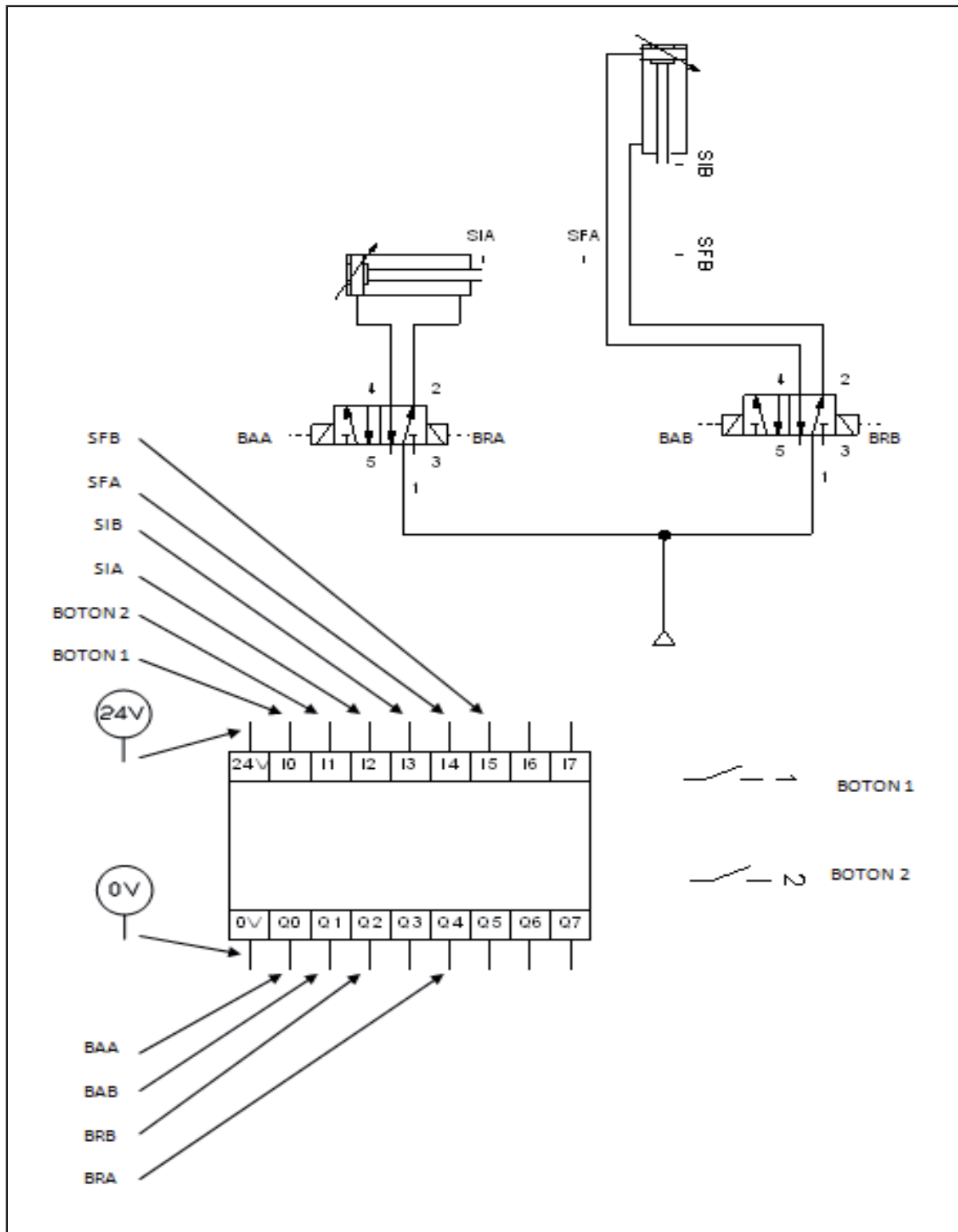


Figura 4.20 Diagrama electroneumático del proceso

#### 4.10 DISEÑO MECÁNICO, ARMADO Y AJUSTE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO MANUAL

##### BASE DEL EQUIPO

La base donde será montado el equipo manual y los elementos que automatizarán el equipo está fabricada de comprimido de madera MDF de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de 40 x 40 centímetros y en la parte frontal tendrá dos perforaciones de  $1 \frac{1}{4}$  de pulgada donde será instalados los switch del mando bimanual.

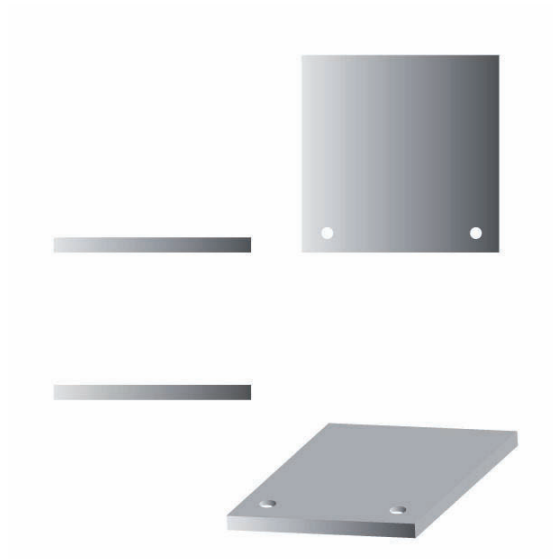


Figura 4.21 Diseño CAD base principal.

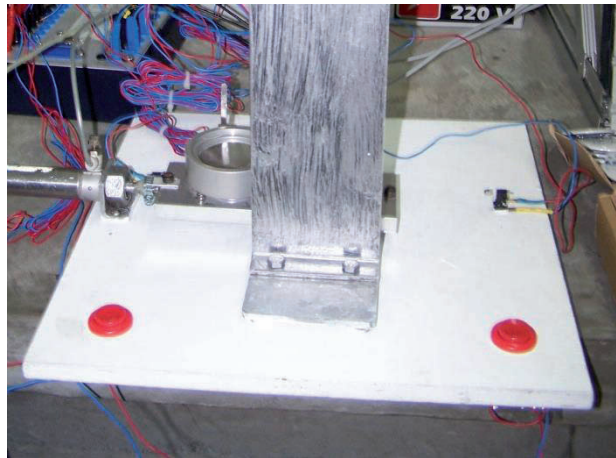


Figura 4.22 Imagen de la base principal.

## BASE DEL PISTÓN A

Como se ha señalado anteriormente, el pistón A es el encargado de deslizar la base móvil para colocar las bases bajo la prensa, para montar el pistón A sobre la base fue necesario diseñar una base de metal en forma de escuadra, en donde en una de las cara tendrá un orificio de 1 pulgada y ahí será introducido un extremo roscado del pistón A y sujetado con una tuerca del tamaño correspondiente , en la base de la escuadra tendrá dos orificios de 3/16 de pulgada, para con tornillos sujetar este acoplamiento a la base.

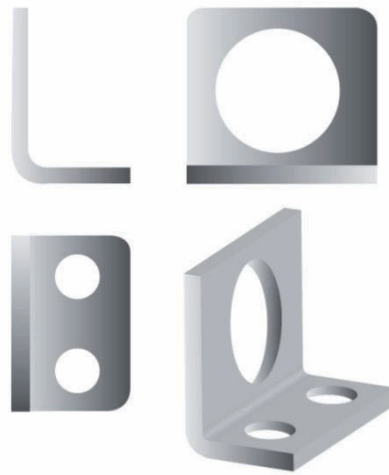


Figura 4.23 Diseño CAD acoplamiento del pistón A.

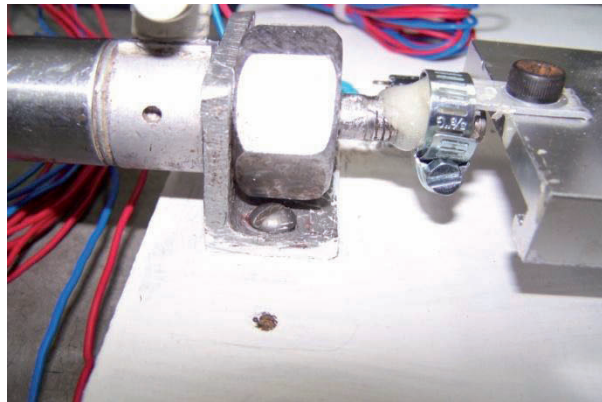


Figura 4.24 Imagen acoplamiento pistón A.

## BASE DEL PISTON B

Para sujetar el pistón B, que prensará el fotoboton fue necesario realizar una base de placa de 3/16, que se incorporaría a la máquina manual, una vez que se le fuera retirada la palanca, fue necesario utilizar este material ya que será sobre esa parte donde se aplicara fuerza, a esa base se le acoplo el pistón B sujetándolo con tornillos.

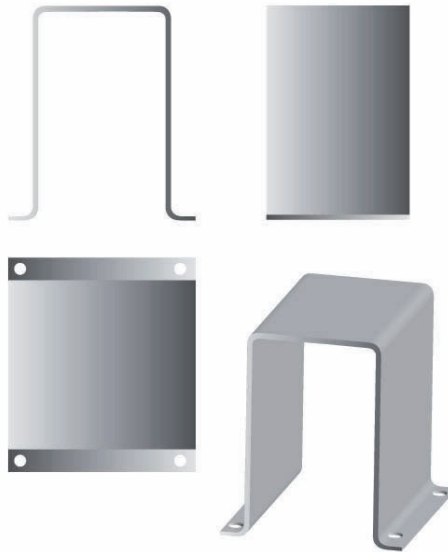


Figura 4.25 Diseño CAD de la base de la prensa.

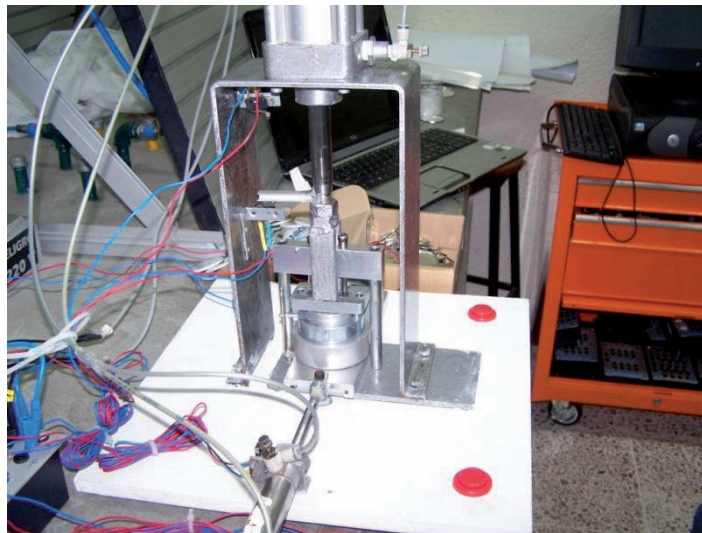


Figura 4.26 Imagen de la prensa neumática.

## ACOPLAMIENTO DE LA PRENSA

El pistón B que prensará el fotoboton requiere un acoplamiento con la máquina manual ya que, como se mencionó anteriormente, le fue retirada la palanca, se diseñó un acoplamiento que se conectó con una tuerca al émbolo del pistón B y en el otro extremo al avanzar la carrera presiona la base A de la máquina prensando el fotoboton, al igual que la base del pistón se fabricó con placa de 3/16 de pulgada para soportar la fuerza ejercida.



Figura 4.27 Diseño CAD acoplamiento pistón- prensa.

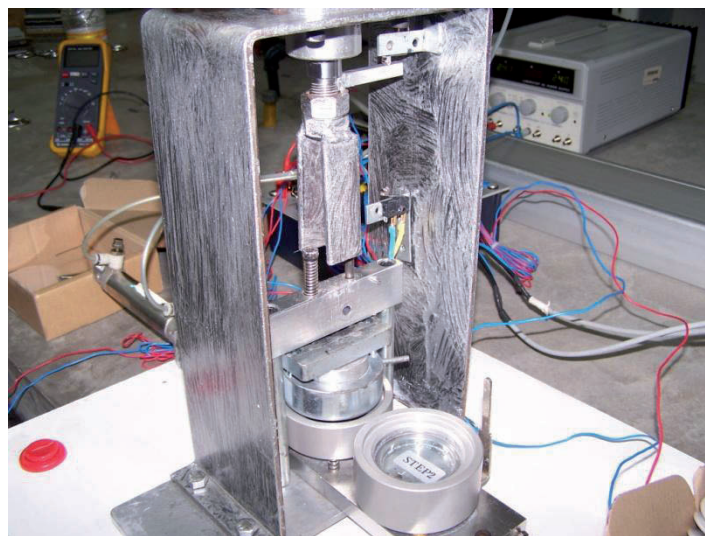


Figura 4.28 Prensa neumática.



## 5.0 PRUEBAS Y RESULTADOS.

Como resultado de esta investigación, se cumplió con el objetivo de automatizar el proceso de prensado de fotobotones utilizando electroneumática, los resultados se muestran a continuación en el desarrollo de este capítulo.

### 5.1 EL EQUIPO AUTOMATIZADO

Como resultado de esta investigación se obtuvo un equipo automatizado, donde el operador mediante un mando bimanual acciona la máquina que comienza a hacer los movimiento que en su versión manual haría el operador.

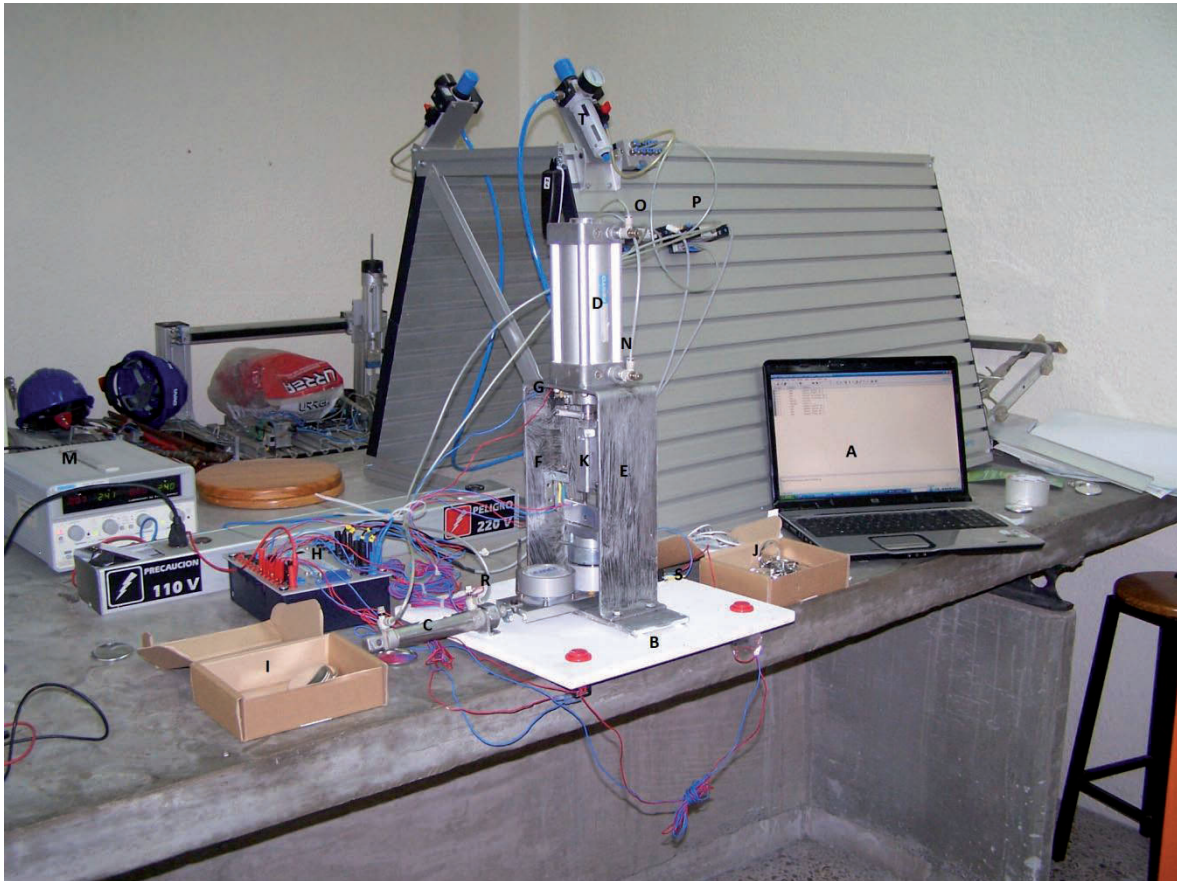


Figura 5.1 Equipo automatizado.

### 5.1.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

- A) Computadora. Es una parte fundamental para la automatización del proceso, mediante la cual es posible crear la secuencia utilizando un software llamado FST 4.10 que por medio del puerto paralelo de la PC se conecta al PLC, este será la interface de comunicación con el PLC.
  
- B) Mando bimanual. Forma parte del objetivo de esta investigación, este tipo de accionamiento es parte de la seguridad industrial, donde es necesario que el operador presione éstos botones simultáneamente para que el equipo comience a trabajar, el que el operador tenga que presionar al mismo tiempo los dos botones garantiza que sus manos estarán fuera del área de riesgo, particularmente en este proceso se podría considerar como peligroso sin este tipo de accionamiento ya que estamos hablando de una prensa.
  
- C) Cilindro neumático A. Su función es deslizar sobre la guía a la base móvil, este movimiento, como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, posiciona las bases bajo la prensa, en el equipo manual este movimiento lo realiza el operador con la mano derecha y se realiza 4 veces durante un ciclo.
  
- D) Cilindro neumático B. Es el encargado de prensar, como se puede observar es un pistón de mayor fuerza, el pistón A posiciona y cuando las condiciones del PLC están dadas este pistón prensa, este movimiento como el anterior en su versión manual lo realiza el operador mediante una palanca (que fue retirada para colocar el pistón) este movimiento se convierte en el más crítico del proceso, ya que es en el que el operador debe aplicar fuerza, y por lo tanto, genera fatiga, ésta fatiga genera que se den defectos durante el proceso, como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, en esta parte del proceso encontramos otro de los objetivos planteados que es reducir la posibilidad de fallo, aplicando una fuerza de prensado constante que obtenemos con el pistón B.



- E) Estructura de la prensa. Es un acoplamiento que fue necesario diseñar y adaptar al equipo manual, en esta estructura está montado el pistón A de la prensa, esta estructura a su vez está ensamblada a una base de madera que sujeta todo el equipo.
- F) Sensor final de B. Está montado sobre la estructura metálica acoplada, se trata de un *switch* mecánico con rodillo, este sensor garantiza que el pistón B está en su posición final, comunicándolo al PLC.
- G) Sensor inicio de B. Está colocado en la estructura previamente mencionada, este sensor garantiza que el pistón B se encuentra en su principio de carrera, este elemento tiene comunicación con el PLC, para que éste decida si están las condiciones dadas o no para iniciar o continuar una secuencia.
- H) PLC. Es el elemento que toma las decisiones del proceso estrictamente a lo programado con base en la información que obtiene mediante sus entradas con los diferentes sensores, y actúa con la secuencia a través de sus salidas, a esto le podríamos llamar la parte operativa, y lo realiza por medio de las dos electroválvulas que utilizamos en este proceso.
- I) Botón frontal, impresión y plástico protector. Se colocó un depósito con estos elementos para su fácil acceso del operador y tratar de hacer más eficiente el proceso.
- J) Parte posterior del botón. Al igual que el depósito anterior, éste tiene el mismo objetivo, se colocan ahí para impedir que el operador tenga que estar buscando en otra parte y por descuido pudiera meter la mano en un área con riesgo como es la prensa.

- K) Acoplamiento de la prensa. Es un acoplamiento diseñado que se adapta a la forma original de la máquina, este elemento está en contacto con lo que en su versión manual fuera la palanca, el extremo superior está en contacto con el pistón B y en su parte inferior al avanzar el pistón B se convierte en la prensa.
- M) Fuente de poder. Proporciona la energía necesaria al PLC para su funcionamiento, esta fuente es regulable, en este caso el PLC está alimentado a 24 VCD.
- N) Regulador de caudal. Está presente tanto en el pistón A como en el B, su función en el proyecto es controlar la velocidad de avance y retroceso de los pistones a nuestra conveniencia.
- O) Electroválvula A. Esta electroválvula 5/2 vías con doble pilotaje eléctrico realiza el avance y el retroceso del pistón A, está conectada a una salida del PLC y es este el que genera la instrucción de cuando debe avanzar y cuando debe retroceder de acuerdo a la secuencia programada.
- P) Electroválvula B. al igual que la electroválvula 5/2 vías, realiza el avance y el retroceso solo que esta está conectada al pistón B.
- R) Sensor inicio de A. Asegura la posición inicial del pistón A, como ya se mencionó el pistón A tiene la función de mover la base móvil que posiciona las bases para el prensado.
- S) Sensor final de A. Garantiza que el pistón A se encuentra en su final de carrera, estos sensores son muy importante ya que brindan información al PLC sobre en qué posición se encuentran los pistones, entonces el PLC estará en condiciones de realizar las funciones según la lista de instrucciones.

T) Unidad de mantenimiento. Es el primer elemento de todo circuito neumático, esta unidad recibe el aire del tanque del compresor y lo filtra además que mediante un manómetro muestra la presión que se tiene, además de contar con una válvula reguladora de presión, de ahí sale el aire ya listo para comenzar el trabajo.

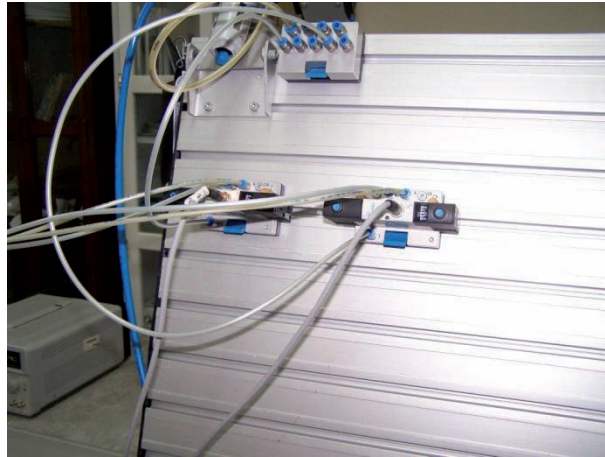


Figura 5.2 Electroválvulas

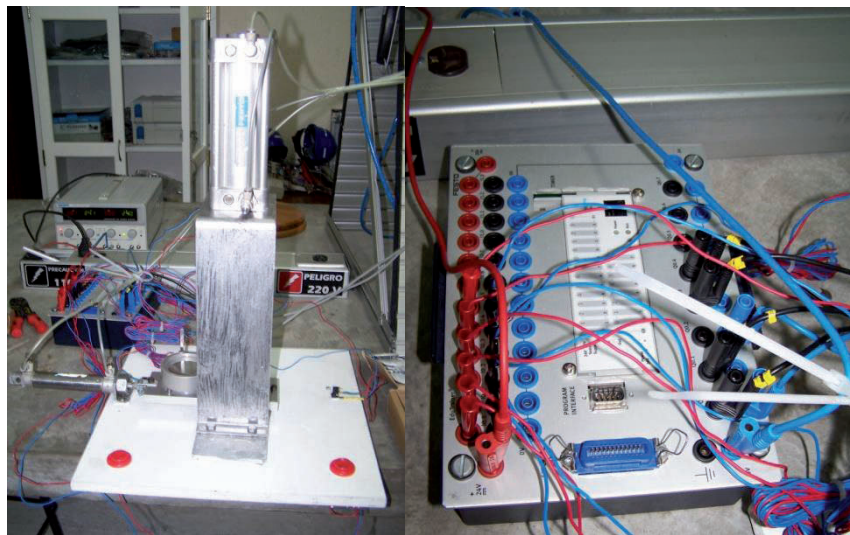


Figura 5.3 y 5.4 equipo automatizado y PLC en funcionamiento



Figura 5.5 Fotobotones prensados con el equipo automatizado



Figura 5.6 Fotobotón terminado



## 5.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESO AUTOMATIZADO PASO A PASO.

### Primer paso.

El primer paso del proceso automatizado es colocar en la base a la imagen en papel y el plástico protector, este paso es exactamente igual a su versión manual.

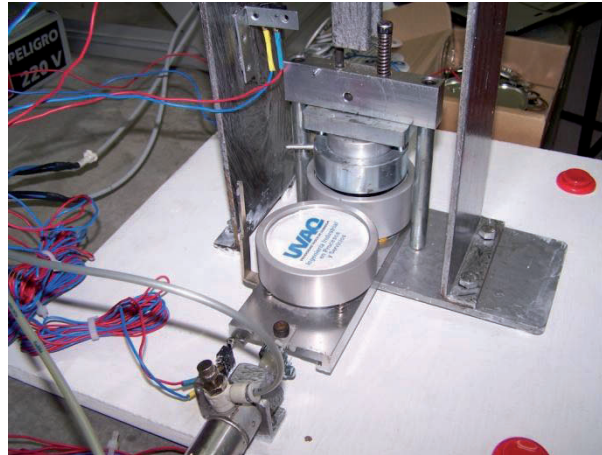


Figura 5.7 Primer paso del proceso automatizado

### Segundo paso.

El segundo paso es presionar ambos botones (mando bimanual) para que comience el proceso, en ese momento el primer movimiento lo realiza el pistón A y coloca la base A bajo la prensa y el pistón B prensa la primer parte del fotobotón.

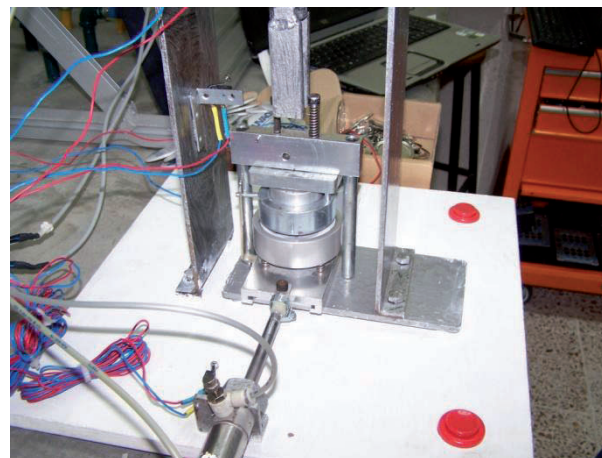


Figura 5.8 segundo paso del proceso automatizado.

### Tercer paso.

Al terminar el segundo paso la máquina queda en espera de accionar el mando bimanual para continuar, esta pausa es necesaria ya que en la base B se requiere colocar la parte trasera del botón, es indispensable en este tipo de accionamiento ya que buscamos evitar a toda costa algún tipo de accidente, cuando el operador colocó la parte trasera del botón y está listo para prensar debe accionar el mando bimanual.

Al accionar el mando se hace el prensado, inmediatamente el pistón B que prensa regresa y libera la base móvil, en este mismo paso el pistón A regresa a su posición inicial dejando en la base B el fotoboton ya terminado.

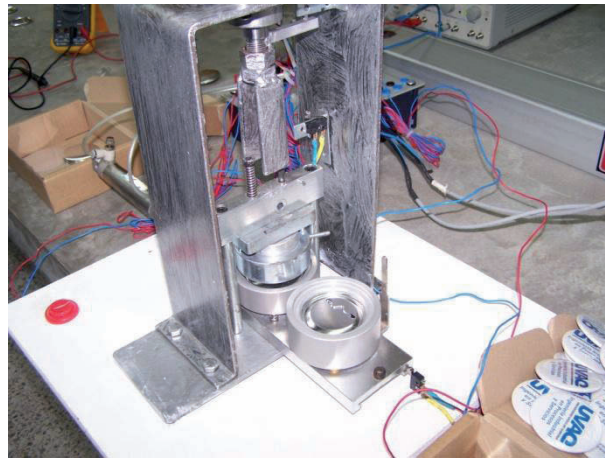


Figura 5.9 Base móvil y prensa.



Figura 5.10 Fotoboton terminado en la base B.

### Cuarto paso

El cuarto y último paso se da después de haber terminado por completo el fotoboton y después de retirarlo se debe accionar el mando bimanual para que el pistón A regrese a su posición de inicio y se pueda reiniciar el ciclo.

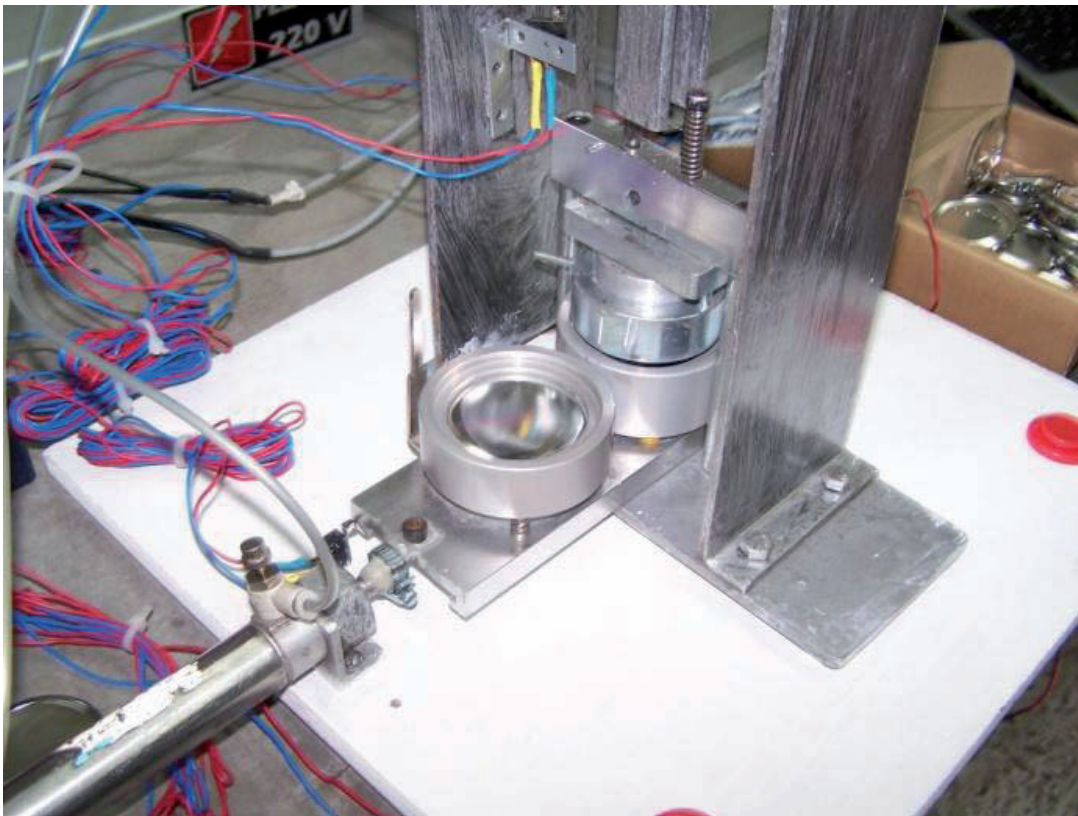


Figura 5.11 Último paso del proceso.

### 5.3 TIEMPO DE CICLO EQUIPO AUTOMÁTICO.

A pesar de que el proceso de prensado es automático no se tiene un tiempo de ciclo constante, que en varias partes del ciclo es necesario utilizar el mando bimanual para continuar con el proceso.

Tabla 5.1 Tiempo de ciclo proceso automatizado

OBSERVACION	TIEMPO EN SEG.	CONDICION
1	17	OK
2	17	OK
3	17	OK
4	17	OK
5	17	OK
6	17	OK
7	17	OK
8	17	OK
9	17	OK
10	18	OK
11	17	OK
12	18	OK
13	17	OK
14	17	OK
15	20	OK
16	17	OK
17	17	OK
18	18	OK
19	17	OK
20	17	OK

De la tabla anterior podemos observar que el tiempo de ciclo promedio de las observaciones es de 17.3, lo que resulta relevante es que no se detectaron defectos durante el proceso, ya que este fue un objetivo planteado, de acuerdo a esto se puede determinar que el aplicar una presión adecuada y constante al prensado de fotobotones garantiza que estos errores no sucedan.



## 5.4 ANÁLISIS DE COSTO DEL EQUIPO AUTOMATIZADO.

El conocer el costo del equipo automatizado resultara importante debido a que después de conocer este costo se podrán sacar conclusiones sobre la rentabilidad del equipo para su fabricación, cabe mencionar que este primer análisis será exactamente con las piezas que se utilizaron, algunas de rehusó y también se realizara este mismo costeo, cotizando todos los elementos nuevos, con los respectivos proveedores.

### COSTEO DEL EQUIPO AUTAMATIZADO

Tabla 5.2 Costeo del equipo automatizado

ELEMENTOS UTILIZADOS					
EQUIPO ELECTRO NEUMATICO					
INSTRUMENTO	COSTO	CONDICION	CANTIDAD	MARCA	TOTAL
Pistón festo modelo DNU-63-100-PPV-A	600	USADO	1	FESTO	600
Piston Air Tech 80 mm carrera	350	USADO	1	Air Tech	350
Electroválvula 5/2 vías accionamiento eléctrico	743	NUEVO	2	FESTO	1486
PLC Festo Fec 34	6400	NUEVO	1	FESTO	6400
EQUIPO MECANICO Y ACCESORIOS					
Sensores mecánicos	20	NUEVO	4	Steren	80
Botón sin enclavamiento	31	NUEVO	2	Steren	62
Reguladores de caudal	81	NUEVO	4	Air Tech	324
Fuente de alimentación	600	NUEVO	1	Steren	600
Cables y conexiones	95	NUEVO	1	Steren	95
Manguera x metro	31	NUEVO	5	NORGREEN	155
EQUIPO MANUAL Y ADAPTACIONES					
Máquina prensado fotobotones manual	2600	USADO	1	sin marca	2600
Base pistón A	50	NUEVO	1	sin marca	50
base pistón B	150	NUEVO	1	sin marca	150
Base de madera	70	NUEVO	1	sin marca	70
Tornillería	90	NUEVO	1	sin marca	90
M.O	450		1	sin marca	450
<b>TOTAL</b>					<b>13562</b>

NOTA: Las cantidades son en pesos Mexicanos.

En la tabla 5.3 se costea los materiales utilizados para la automatización del equipo, cabe mencionar que estos son los elementos con los que se dispone para la automatización, sin embargo puede que no sean los más adecuados en cuanto a costo ya que algunos elementos resultan sobrados para el tipo de proceso que se está realizando.

En la siguiente tabla se muestran los elementos necesarios para la creación de un equipo de prensado de fotobotones utilizando equipo nuevo.

Tabla 5.3 Cotización de los elementos para crear un equipo con materiales nuevos.

<b>ELEMENTOS UTILIZADOS</b>					
<b>EQUIPO ELECTRO NEUMATICO</b>					
<b>INSTRUMENTO</b>	<b>COSTO</b>	<b>CONDICION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>MARCA</b>	<b>TOTAL</b>
Pistón festo modelo DNC-63-100-PPV-A	2640	NUEVO	1	FESTO	2640
Pistón festo modelo DNC-32-80-PPV-A	1030	NUEVO	1	Air Tech	1030
Electroválvula 5/2 vías accionamiento eléctrico	743	NUEVO	2	FESTO	1486
PLC Festo Fec 34	6400	NUEVO	1	FESTO	6400
<b>EQUIPO MECANICO Y ACCESORIOS</b>					
Sensores mecánicos	20	NUEVO	4	Steren	80
Botón sin enclavamiento	31	NUEVO	2	Steren	62
Reguladores de caudal	81	NUEVO	4	Air Tech	324
Fuente de alimentación	600	NUEVO	1	Steren	600
Cables y conexiones	95	NUEVO	1	Steren	95
Manguera x metro	31	NUEVO	5	NORGREEN	155
<b>EQUIPO MANUAL Y ADAPTACIONES</b>					
Máquina prensado fotobotones manual	3340	NUEVO	1	sin marca	3340
Base pistón A	50	NUEVO	1	sin marca	50
base pistón B	150	NUEVO	1	sin marca	150
Base de madera	70	NUEVO	1	sin marca	70
Tornillería	90	NUEVO	1	sin marca	90
M.O	450		1	sin marca	450
<b>TOTAL</b>					<b>19862</b>

NOTA: Las cantidades son en pesos mexicanos.

### Opciones de compresores.

A continuación se mencionan algunas opciones de compresores que cumplen con las características requeridas para el funcionamiento del equipo.

MARCA	MODELO	PRECIO	PROVEEDOR	CARACTERISTICAS
CRAFTMAN	52952982	\$ 2,599.00	SEARS	COMPRESOR HORIZONTAL 1.5 H.P. 3 GALONES, 90 PSI
CRAFTMAN	10188737	\$ 4,699.00	SEARS	COMPRESOR VERTICAL 1.0 H.P. 12 GALONES, 125 PSI
GONI	960P	\$ 1,980.00	MERCADO LIBRE	COMPRESOR 2.5 H.P. TANQUE DE 25 LITROS, 120 PSI

### 5.5 RETORNO DE LA INVERSION

A continuación se presenta un cálculo del retorno de la inversión para el equipo automatizado en función de cantidad de piezas producidas y tomando en cuenta los siguientes datos y suponiendo una demanda ilimitada.

Tabla 5.4 Recuperación de la inversión

EQUIPO AUTOMATICO	datos
TIEMPO DE CICLO	17.4 SEG.
COSTO M.O. / JORNADA 8 HRS /5 DIAS /SEMANA	\$800
PRECIO DE VENTA FOTOBOTON X VOLUMEN	\$2.95
COSTO DEL FOTOBOTON	\$1.19
UTILIDAD X FOTOBOTON	\$1.76
FOTOBOTONES X JORNADA DIARIA	1694 PIEZAS

### Periodo de recuperación de la inversión en cantidad de unidades.

Tomando en cuenta la utilidad neta que se tiene (despreciando algunos costos no calculados) de 1.76 pesos x unidad y sabiendo que el costo del equipo está estimado en \$19862 pesos se obtiene lo siguiente:

Considerando M.O. la cantidad a recuperar sería \$20951.6 pesos ya que 11285 unidades son producidas en 196359 segundos lo que representa 6.81 días de M.O. lo cual tendría un costo \$1089.6 pesos, por lo tanto el periodo de recuperación en unidades sería:

$$20951.6 / 1.76 = 11905 \text{ unidades}$$

### Tiempo del periodo de recuperación

Si el periodo de recuperación se da 11905 unidades y de acuerdo al tiempo de ciclo del proceso (17.4 segundos) es posible calcular el tiempo de la recuperación de la inversión:

$$11905 \text{ unidades} * 17.4 \text{ segundos} = 207147 \text{ segundos} \text{ lo que representa } 7.19 \text{ jornadas continuas laboradas de 8 horas.}$$

## 6.0 CONCLUSIONES

Este proyecto es posible en cuanto a factibilidad y rentabilidad, automatizar el proceso de prensado de fotobotones utilizando elementos electroneumáticos, además desde una perspectiva mecánica también esta investigación demostró que es posible.

En cuanto al tiempo de ciclo del proceso entre el método manual y el automático se obtuvo una disminución por parte del equipo automatizado de 4.03 segundos, si bien es cierto que esta disminución del tiempo de ciclo representa una mayor productividad no es el elemento fundamental, según la observación y opiniones de operadores del proceso el tedio y la fatiga son los elementos más importantes a mejorar en el proceso, y al automatizarlos se cumplen con los objetivos planteados.

De los diferentes capítulos de la investigación podemos concluir lo siguiente:

- Se elimina la fatiga y tedio en el operador en el proceso de prensado ya que por la naturaleza del proceso son gran cantidad de repeticiones.
- Es posible automatizar el proceso de prensado de fotobotones utilizando electroneumática.
- El tiempo de ciclo del proceso manual promedio es de 21.33 segundos variando en función del tiempo debido a las cuestiones estudiadas en capítulos anteriores, el tiempo de ciclo del proceso automatizado promedio es de 17.3 segundos variable de acuerdo a la destreza del operador, la diferencia entre tiempos promedio de los proceso es de 4.03 segundos siendo más eficiente el equipo automatizado.
- El costo de crear un equipo de prensado de fotobotones con los elementos usados en esta investigación fue de \$13,562.00 pesos.

- El costo de crear un equipo de prensado de fotobotones cotizado con elementos nuevos fue de \$19,862.00 pesos y mediante la realización de un estudio del periodo de recuperación de la inversión del equipo se obtuvo que es posible esta recuperación al realizar 11905 unidades o en 7.19 jornadas laboradas continuas de 8 horas.
- Fue posible la adaptación de los elementos electroneumáticos a el equipo manual, diseñando piezas de ensamble que permitieran sostener los elementos adaptados, estas adaptaciones fueron diseñadas en CAD y realizadas en placa de metal y sujetas con tuercas y tornillos y teniendo un costo de \$810.00 incluyendo la mano de obra.

---

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Waller D., Wermer H. (1997) Neumática nivel básico. FESTO didactic
- [2] Waller D., Wermer H. (1997) Electro neumática nivel básico: editorial Esslingen, 4ª Edición 1995 Alemania.
- [3] Los fotobotones publicitarios. Recuperado el 25 de julio 2011 de: <http://www.cilindrosyfotobotones.com/>
- [4] Apuntes de electro neumática industrial (2010). Recuperado el 21 de julio 2011 de: <http://elcentro-online.foroactivo.com/t173-libros-y-apuntes-de-neumatica>
- [5] [Benjamin W. Niebel](#) (1996) Ingeniería industrial: métodos, tiempos y movimientos. Editorial Alfaomega, 9ª Edición
- [6] Mando bimanual (2011). Recuperado el 20 de julio 2011 de: <http://www.valpi.es/soluciones/mando.htm>



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 COMPRESOR DE ÉMBOLO.....	10
FIGURA 2.2 COMPRESOR DE ÉMBOLO DE DOS TAPAS.....	10
FIGURA 2.3 COMPRESOR DE ÉMBOLO, DE DOS ETAPAS, DOBLE ACCIÓN...	11
FIGURA 2.4 COMPRESOR DE ÉMBOLO CON MEMBRANA.....	11
FIGURA 2.5 COMPRESOR RADIAL DE PALETAS. ....	12
FIGURA 2.6 COMPRESOR DE TORNILLO.....	12
FIGURA 2.7 COMPRESOR ROOTHS. ....	13
FIGURA 2.8 TURBOCOMPRESOR.....	13
FIGURA 2.9 TURBOCOMPRESOR RADIAL. ....	14
FIGURA 2.10 TURBOCOMPRESOR AXIAL.....	15
FIGURA 3.1 CILINDRO NEUMÁTICO DOBLE EFECTO.....	19
FIGURA 3.2 SENSOR MECÁNICO CON RODILLO.....	20
FIGURA 3.3 BOTÓN PULSADOR .....	20
FIGURA 3.4 DIAGRAMA VÁLVULA 5/2 VÍAS PILOTAJE ELÉCTRICO .....	21
FIGURA 3.5 PLC FESTO FEC 34.....	22
FIGURA 3.6 REGULADOR DE CAUDAL.....	23
FIGURA 3.7 MANGUERA DE ALTA PRESIÓN .....	23
FIGURA 3.8 FUENTE REGULABLE .....	24
FIGURA 4.1 PARTES DEL FOTOBOTON.....	26
FIGURA 4.2 PARTES DEL EQUIPO MANUAL.....	26
FIGURA 4.3 PASO 1.....	27
FIGURA 4.4 PASO 2.....	27

FIGURA 4.5 PASO 3.....	28
FIGURA 4.5 PASO 4.....	28
FIGURA 4.6 PASO 5.....	29
FIGURA 4.7 PASO 6.....	29
FIGURA 4.9 PASO 8.....	30
FIGURA 4.10 PASO 9.....	30
FIGURA 4.11 EN ESTA IMAGEN SE OBSERVA UN FOTOBOTON CON DEFECTO, NO FUE PRENSADO ADECUADAMENTE, SE PUEDE OBSERVAR QUE EL PLÁSTICO PROTECTOR QUEDÓ POR FUERA DEL PRENSADO. ....	32
FIGURA 4.12 EN ESTA FIGURA SE OBSERVA OTRO DEFECTO VINCULADO AL PRENSADO, DE IGUAL FORMA NO SE PRENSÓ ADECUADAMENTE, AQUÍ SE OBSERVA EL PAPEL Y EL PLÁSTICO POR FUERA DEL HERRAJE .....	33
FIGURA 4.13 BOTÓN MAL PRENSADO VISTO POR LA PARTE TRASERA, ESTE TIPO DE BOTONES SE CONVIERTEN EN DESPERDICIO, NO ES POSIBLE VOLVERLOS A UTILIZAR PARA ESTE PROCESO. ....	33
FIGURA 4.14 MOVIMIENTO 1 DESPLAZAMIENTO DE LA BASE MÓVIL .....	35
FIGURA 4.15 MOVIMIENTO 2 PRENSADO EN LA BASE A.....	35
FIGURA 4.16 MOVIMIENTOS 3 Y 4 .....	36
FIGURA 4.17 MOVIMIENTO 5 Y 6 .....	36
FIGURA 4.18 MOVIMIENTO 7.....	37
FIGURA 4.19 DISEÑO CAD BASE PRINCIPAL .....	40
FIGURA 4.20 IMAGEN DE LA BASE PRINCIPAL .....	40
FIGURA 4.21 DISEÑO CAD ACOPLAMIENTO DEL PISTÓN A.....	41
FIGURA 4.22 IMAGEN ACOPLAMIENTO PISTÓN A.....	41
FIGURA 4.23 DISEÑO CAD DE LA BASE DE LA PRENSA.....	42
FIGURA 4.24 IMAGEN DE LA PRENSA NEUMÁTICA.....	42

---

FIGURA 4.25 DISEÑO CAD ACOPLAMIENTO PISTÓN- PRENSA .....	43
FIGURA 4.26 PRENSA NEUMÁTICA .....	43
FIGURA 5.1 EQUIPO AUTOMATIZADO. ....	44
FIGURA 5.2 DESCRIPCIÓN DE PROCESO AUTOMATIZADO PASO A PASO.....	49
FIGURA 5.3 Y 5.4 EQUIPO AUTOMATIZADO Y PLC EN FUNCIONAMIENTO .....	49
FIGURA 5.5 FOTOBOTONES PRENSADOS CON EL EQUIPO AUTOMATIZADO	50
FIGURA 5.6 FOTOBOTON TERMINADO.....	50
FIGURA 5.7 PRIMER PASO DEL PROCESO AUTOMATIZADO.....	51
FIGURA 5.8 SEGUNDO PASO DEL PROCESO AUTOMATIZADO.....	51
FIGURA 5.9 BASE MÓVIL Y PRENSA .....	52
FIGURA 5.10 FOTOBOTON TERMINADO EN LA BASE B .....	52
FIGURA 5.11 ÚLTIMO PASO DEL PROCESO.....	53

---

**ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 4.1 TEMPO DE CICLO PROCESO MANUAL.....	31
TABLA 4.2 GRÁFICA DEL ANÁLISIS DEL TIEMPO DE CICLO DEL PROCESO MANUAL. ....	31
TABLA 5.1 TIEMPO DE CICLO PROCESO AUTOMATIZADO .....	54
TABLA 5.2 COSTEO DEL EQUIPO AUTOMATIZADO.....	55
TABLA 5.3 COTIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS PARA CREAR UN EQUIPO CON MATERIALES NUEVOS.....	56
TABLA 5.4 RECUPERACION DE LA INVERSION.....	57