

REPOSITORIO ACADÉMICO DIGITAL INSTITUCIONAL

Diseño y construcción de un prototipo de máquina para el corte y/o estampado de masa y/o pasta como materia prima para alimentos

Autor: Juan Carlos Chávez Paredes

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

Nombre del asesor:
Miguel Agustín Heredia Vázquez

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.





UNIVERSIDAD VASCO DE QUIROGA

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN
PROCESOS Y SERVICIOS

**“Diseño y construcción de un prototipo de máquina
para el corte y/o estampado de masa y/o pasta como
materia prima para alimentos.”**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL EN PROCESOS Y
SERVICIOS

PRESENTA

JUAN CARLOS CHÁVEZ PAREDES

ASESOR

ING. MIGUEL AGUSTÍN HEREDIA VÁZQUEZ

CLAVE: 16PSU0050V

ACUERDO: LIC000809

MORELIA, MICHOACÁN

SEPTIEMBRE DE 2010

AGRADECIMIENTOS

ADIOS...

Que me ha dado tanto en mi vida y que me ha permitido cumplir una meta más y ofrecérsela a Él y a mis padres.

A MIS PADRES...

Que siempre me han apoyado incondicionalmente a pesar de las adversidades que pueda haber en el camino, y que me han enseñado que con trabajo y dedicación se puede alcanzar cualquier meta por difícil que ésta parezca.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	II
ANTECEDENTES	III
OBJETIVO GENERAL	V
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	V
ALCANCES Y LIMITACIONES	VI
JUSTIFICACIÓN	VII
CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 AUTOMATIZACIÓN.....	3
2.1.1 <i>Objetivos de la automatización:</i>	3
2.1.2 <i>Ventajas y desventajas de la automatización</i>	5
<i>Desventajas:</i>	6
2.2 NEUMÁTICA.....	6
2.2.2 <i>Aplicaciones industriales de la neumática</i>	10
2.2.5 <i>El circuito neumático</i>	11
2.3 ELECTRONEUMÁTICA	13
2.3.1 <i>Dispositivos eléctricos</i>	13
2.4 EL PLC	16
2.4.1 <i>Métodos de programación típicos</i>	17
2.4.2 <i>Estructura del Programa STL</i>	18
2.5 LA MASA O PASTA (ALIMENTO).....	19
CAPÍTULO 3	20
REVISIÓN TÉCNICA	20
3.1 CONTROL DE AIRE COMPRIMIDO: VÁLVULAS.....	20
3.1.1 <i>Parámetros de una válvula</i>	20
3.1.2 <i>Electroválvula de 5/2 vías</i>	21
3.1.3 <i>Válvulas de regulación de caudal</i>	23
3.2 SENSORES	23
3.2.1 <i>Sensor eléctrico de final de carrera</i>	24
3.2.2 <i>Sensor magnético de posición para cilindros</i>	25
3.3 CILINDROS DE DOBLE EFECTO	26
3.4 UTILIZACIÓN EL PLC	27
CAPÍTULO 4	28
DESARROLLO	28
4.1 CORTE Y ESTAMPADO MANUAL	28

ÍNDICE GENERAL

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PROPUESTO.....	30
4.3 REPRESENTACIÓN DE LAS FASES DE TRABAJO.....	31
4.4 PROGRAMA PARA LA SIMULACIÓN.....	38
4.4.1 Explicación del programa.....	40
4.5 MONTAJE EN TABLERO DE LABORATORIO.....	42
4.6 DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	43
4.6.1 Dimensiones generales.....	43
4.6.2 Diseño por partes.....	46
4.7 CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO.....	49
4.8 SIMULACIÓN FINAL DEL PROTOTIPO.....	53
CAPÍTULO 5.....	58
RESULTADOS.....	58
5.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROTOTIPO.....	60
CAPÍTULO 6.....	61
CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....	61
6.1 CONCLUSIONES.....	61
6.2 TRABAJO A FUTURO.....	62
ANEXOS.....	63
INDICE DE FIGURAS.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	68

RESUMEN

El presente proyecto surge de la necesidad de emplear los diversos conocimientos adquiridos tanto en la carrera de Ingeniería Industrial en Procesos y Servicios, así como en el diplomado de Automatización Neumática e Hidráulica, para desarrollar una aplicación de éstos en el campo de la automatización de la producción de alimentos.

Dicho proyecto está orientado hacia la fabricación de productos de la industria alimenticia, en el cual se expone el desarrollo, así como el diseño y construcción de un modelo automatizado de máquina que realiza las funciones de corte, sellado y/o grabado de masa o pasta para la industria panificadora, como materia prima para realizar diversos productos como galletas, empanadas, variedad en panes, etc.

Para lo anterior, se realizó un análisis de las actividades y movimientos requeridos en la elaboración manual, para posteriormente hacer la selección de los elementos necesarios de la electroneumática para su emulación.

Posterior a dicha selección de elementos, se comprobó la factibilidad del proyecto, verificando que la fuerza necesaria para ejecutar el corte y/o grabado aplicada por el operador pudiera ser igualada, una vez realizado lo anterior y habiendo programado la secuencia, se montaron todos los elementos en el tablero del laboratorio de Ingeniería Industrial.

Una vez realizado lo anterior, se procedió a desarrollar el diseño y construcción del prototipo de máquina, teniendo como resultado la simulación del proceso y así comprobar que es posible automatizar un proceso que se realiza de manera manual.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria alimenticia es la encargada de la elaboración, transformación, preparación, conservación y envasado de alimentos para el consumo humano. La parte que compete al presente proyecto, se enfoca en la etapa del corte y/o estampado que se le puede dar a los alimentos elaborados a base de masa o pasta, con el objetivo de lograr en éstos un aspecto más agradable y personalizado, para con ello obtener una diferenciación en el producto con respecto a la competencia.

Dicho proceso actualmente se realiza de manera manual, en el cual, el operador presiona la masa o pasta por medio de un molde que contiene el relieve de la figura a cortar y/o grabar, al hacerlo de esta manera, se corre el riesgo de que el alimento pueda ser contaminado si el operador no tiene los cuidados higiénicos necesarios, como puede ser la falta de aseo en las manos, no usar tapabocas o red para el cabello, principalmente.

ANTECEDENTES

Actualmente, la automatización juega un papel imprescindible en los procesos de elaboración de productos, por esa razón, hoy en día muchas empresas han optado por utilizar los procesos de automatización para incrementar su producción, tener un mejor control sobre ésta y minimizar las mermas y defectos en sus productos.

Específicamente en la industria de los alimentos, la automatización ha sido de vital importancia, ya que al aplicarse en procesos que requieren de mucha precisión, éstos deben estar higiénicamente muy controlados, lo que nos brinda mayores ventajas ya que dicha automatización además de ser exacta, es muy limpia al estar basada en el uso del aire.

Observando y analizando todas éstas cualidades que posee la automatización y atendiendo las necesidades que las empresas buscan satisfacer, surge la propuesta de realizar el prototipo de una máquina que realice cortes, estampados, sellos, etc., en alimentos que utilicen la masa como materia prima para su elaboración, con el objeto de comprobar la utilidad de la automatización neumática en procesos que se llevan a cabo de manera manual, estandarizando éstos movimientos y realizando las pruebas correspondientes.

En la actualidad, numerosas empresas automatizan sus procesos para realizar diferentes actividades aprovechando las ventajas que ésta nos da, un ejemplo claro de esto es la automatización e industrialización que se ha implementado en la fábrica de dulces Vero[®] en Jalisco, México, la cual ha conservado las características de un negocio familiar, pero con la tecnología y políticas que la modernidad demanda, tal como se puede observar en la siguiente liga: <http://www.youtube.com/watch?v=rSGhcSdY6rY>.

ANTECEDENTES

En ese sentido, surge la inquietud de diseñar y construir un prototipo de máquina que efectúe dichos movimientos manuales y el cual, pudiera utilizarse por diversos fabricantes, es decir, el presente proyecto no va enfocado a una empresa en específico sino que pudiera aplicarse a una gran variedad de negocios que así lo requieran.

OBJETIVO GENERAL

- Realizar el diseño, programación y construcción de un prototipo de máquina que permita realizar el corte, estampado y/o sellado de masa o pasta como materia prima para diversos alimentos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de la secuencia de movimientos manuales necesarios para realizar la operación.
- Elegir los elementos neumáticos y electroneumáticos indispensables para emular la secuencia de sus movimientos.
- Verificar la factibilidad del proyecto mediante una simulación con los elementos de la automatización elegidos, para saber si el movimiento de corte y/o estampado es similar al que se realiza de manera manual.
- Diseñar los elementos del prototipo de máquina necesarios para su correcto funcionamiento.
- Construir físicamente el prototipo para verificar que el proceso funcione conforme a lo propuesto en el diseño.

ALCANCES Y LIMITACIONES

En el presente proyecto se pretende realizar la automatización del corte, sellado, y/o estampado de masa para alimentos mediante la elaboración de un diseño y posteriormente, la construcción de un prototipo de máquina, capaz de ejecutar las tareas que realizan los operadores de manera manual, haciendo uso de las ventajas que nos brinda la neumática en los procesos de precisión, control, velocidad y número de movimientos.

Para su diseño, se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- Tiempo de estampado, corte y/o sellado, con el fin de que éste sea controlado y a su vez pueda ser modificado dependiendo de las necesidades del operador.
- Control de piezas terminadas, esto se llevará a cabo por medio de un contador de piezas que salen del proceso, el cual también podrá ser variable dependiendo de las necesidades del operador, pudiendo así, definir el tamaño del lote de producto terminado de acuerdo a las necesidades de la producción.
- Variación en la velocidad, con esto se tendrá un control en la velocidad de los elementos que constituyen la máquina con el fin de adecuarlo al tipo de producto que se pretende manipular.

No se tiene considerado en este proyecto:

- El material con el cual está hecho el prototipo, ya que solamente es una simulación del proceso.
- Los costos de fabricación y elementos necesarios para la construcción del modelo.

JUSTIFICACIÓN

La importancia de este proyecto radica en resaltar la utilidad de la automatización en sustitución de procesos que se realizan de manera manual para aprovechar las ventajas que ésta nos brinda para el control de la producción, reducción de tiempos, entre muchas otras.

De manera concreta, en el presente proyecto se busca realizar el diseño y construcción de un modelo de máquina capaz de ejecutar las funciones de corte y/o estampado de masa o pasta que lleva a cabo el operador de manera manual, para con ello, mejorar la calidad del producto, así como reducir tiempos en el proceso, como se muestra en las especificaciones técnicas del prototipo en el Capítulo 5 sección 5.1 (Resultados); ya que al automatizar dicho proceso, ésta actividad se realizará de forma continua, evitando así errores provocados por el cansancio o tedio que genera la repetición de movimientos.

Otras de las ventajas que nos da la automatización en el proceso, es la reducción en la dependencia de personal humano, ya que se reduce la mano de obra necesaria para el proceso, teniendo solamente el gasto en mantenimiento de la máquina, asimismo, el proceso se realizará de una manera más limpia, ya que además de aprovechar el aire para llevar a cabo el trabajo, se evita que haya elementos contaminantes derivados por la misma mano de obra del operador, como falta de higiene en las manos, el no usar tapabocas, red para el pelo, etc.

Hoy en día existen numerosas empresas que han implementado la automatización en sus procesos de fabricación o transformación de alimentos, como es el caso de la empresa sudamericana Panificadora Victoria[®], dedicada a la producción de pastelillos y galletas en diferentes presentaciones. Dicha empresa ha estandarizado sus procesos aprovechando las ventajas que conlleva automatizar sus líneas de producción, lo cual se puede observar en el video de la siguiente liga de internet: <http://www.youtube.com/watch?v=RWY5mxoUpXQ>.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto surge de la inquietud de aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Industrial en Procesos y Servicios aunado con la aplicación de la automatización neumática, ya que con ella se pueden efectuar diferentes tareas que sustituyen movimientos que son realizados por el ser humano en diversos procesos, simplificándolos y haciéndolos más controlados, ya que los diferentes elementos se mueven a una velocidad constante, para con esto, evitar errores derivados de dicha variación.

Para lo cual, se observó que existían diversos procesos dentro de la industria alimenticia donde se podían utilizar dichas aplicaciones neumáticas, una de ellas es en el proceso de corte, sellado o estampado que se aplica a los alimentos basados en el uso de la masa como materia prima, para darle diferentes formas o cortes dependiendo del producto que se pretenda realizar, como son las galletas, tartas, pizzas, etc.

Dicho proceso se hace generalmente de manera manual, por lo que es posible sustituirlo con el uso de la automatización neumática, para con ello estandarizarlo y lograr tener un mayor control de los tiempos, movimientos y número de piezas terminadas.

Por lo anterior, mediante este proyecto se propone la elaboración del diseño y construcción de un prototipo de máquina automatizada que realice la simulación del proceso de corte, sellado y/o estampado de masa para la preparación de diversos alimentos, ya que la fuerza natural que aplica el operador en dichas actividades pueden ser emuladas por la neumática, con lo que es posible realizar éstas operaciones de manera automatizada y con esto comprobar la utilidad de la automatización neumática de manera más clara.

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

Para lograr el objetivo del proyecto, se iniciará explicando a grandes rasgos las teorías necesarias que intervienen en él, así como el conocimiento de los diversos elementos que son usados en la automatización neumática y electroneumática, y que a su vez serán empleados en la construcción del prototipo.

Posteriormente se realizará el análisis de los movimientos y de la fuerza aplicada de forma manual, para con esto, determinar tanto los elementos neumáticos necesarios como la secuencia más adecuada para emular la tarea requerida como se muestra en el Capítulo 4.

Una vez que se determinaron los elementos que se utilizarán en el prototipo, se desarrollará el diseño de cada una de las partes que lo componen con sus respectivas dimensiones, mismas que están basadas en el cálculo del desplazamiento de cada uno de los elementos que realizarán el trabajo, así como de las piezas a las cuales se le va a aplicar de forma simulada el estampado, sellado y/o corte.

Ya teniendo las dimensiones de las piezas, se prosigue con el armado del prototipo de máquina para probar que ésta funcione conforme a lo propuesto.

Finalmente en el Capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos, las conclusiones del proyecto y la capacidad de la máquina.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Dentro del marco teórico podemos encontrar los aspectos generales de lo que es la automatización, neumática, electroneumática, elementos actuadores, sensores y algunos tipos de válvulas, que podrían ser útiles para la construcción del prototipo que se pretende realizar, así como la definición y la utilidad del PLC y su programación. Además, se abordará de manera general la composición de la masa a la cual se le aplicará la fuerza de corte y/o estampado.

2.1 AUTOMATIZACIÓN

Automatización; (del griego: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales, sustituyendo a los operadores humanos.

2.1.1 Objetivos de la automatización:

- Incrementar la productividad y flexibilidad de la herramienta
- Producir una cantidad constante
- Proveer cantidades necesarias en el momento preciso

Existen dos métodos para llevar a cabo el diseño de los sistemas de control de acuerdo a la tecnología empleada:

- a) *Automatización dedicada o estándar*
- b) *Automatización flexible*

a) Automatización dedicada o estándar

Esta tecnología se basa en el uso de relevadores (**Figura 2-1**) y contacto, que hasta no hace mucho tiempo era la única manera de implementar sistemas de control. Sin embargo, es muy complejo llevar a cabo modificaciones en su lógica de operación debido a lo problemático y conflictivo que resulta cambiar el diseño.

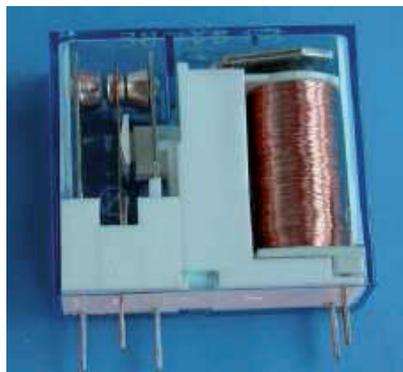


FIGURA 2-1. Relevador.¹

b) Automatización Flexible

El enfoque para esta tecnología tiene como fin la utilización de instrucciones codificadas, las cuales se almacenan en unidades de memoria y ejecutadas por un microprocesador (**Figura 2-2**).

¹ Obtenida de: http://www.donosgune.net/2000/gazteler/electronica/relepr/rele_im.htm



FIGURA 2-2. Microprocesador.²

2.1.2 Ventajas y desventajas de la automatización

El punto de partida para establecer las reglas de cuándo emplear o no la automatización, debería ser sin lugar a duda la contraposición de las ventajas y desventajas del mismo.

Ventajas:

- ✓ *Repetitividad permanente.* Una vez que el proceso de automatización se ha implementado y depurado, las operaciones se repiten de forma idéntica continuamente.
- ✓ *Calidad “cero defectos”.* Al alcanzarse la repetitividad es posible ajustar el proceso de manera que se logren niveles óptimos de calidad.
- ✓ *Disponibilidad 24 horas al día.* Una vez ajustadas, las máquinas pueden trabajar día y noche sin necesidad de descansar.

² Obtenida de:

http://1.bp.blogspot.com/_bw641fuKwow/S_LELp7qTbI/JrAbCsom_hc/s1600/microprocesador.jpg

Desventajas:

- × *Inflexibilidad.* Puede ser costosa o lenta la adaptación o el cambio de un proceso automatizado para producir modelos diferentes de productos compuestos por partes diferentes entre sí.
- × *Personal altamente calificado.* A lo largo de todo el proceso de implantación, desde el diseño de la línea y los equipos, hasta el mantenimiento regular y modificaciones de mejora. Este personal es muy caro y sumamente escaso.
- × *Elevado costo de inversión.* El capital requerido para invertir en estos equipos puede ser sumamente elevado.

2.2 NEUMÁTICA

2.2.1 Definición

Es la ciencia que trata acerca de los movimientos y procesos del aire. La palabra neumática proviene del griego “*pneuma*” que significa respiración, viento y, filosóficamente, alma.

El aire es usado como forma de energía desde la antigüedad. Sin embargo, la neumática es usada en la industria sólo a partir de la mitad del Siglo XX, empleándola para mejorar procesos de fabricación.³

³ BERRÍO, Luis Giovanni. (2007), Neumática Básica, Colombia, Fondo Ed. ITM Pp 19

2.2.2 Ventajas y desventajas del aire comprimido

Trabajar con aire comprimido representa ciertas ventajas y desventajas, sobre todo, si se compara con la hidráulica y la electricidad:

Ventajas:

- ✓ *Económico.* Se puede conseguir como fluido de trabajo simplemente tomándolo de la atmósfera, lo que no implica costos.
- ✓ *Seguro.* Hay pocos riesgos de accidentes, porque no posee propiedades explosivas.
- ✓ *Abundante.* Se encuentra en grandes cantidades en la Tierra.
- ✓ *No contamina.* El aire después de ser utilizado se devuelve al ambiente sin representar contaminación del medio ambiente.
- ✓ *Rápida respuesta.* Los actuadores pueden trabajar a altas velocidades.
- ✓ *No requiere líneas de retorno.* A diferencia de otros medios como la hidráulica, éste no requiere volver al generador, sino que se devuelve al medio ambiente sin inconvenientes.
- ✓ *Fácil montaje y mantenimiento.* La instalación es sencilla, rápida y limpia.

Desventajas:

- ✗ *Humedad.* El aire, al salir del compresor, puede tener una alta temperatura, lo que hace que al recorrer una línea de distribución se presente un enfriamiento y se produzca condensación, traduciéndose en presencia de agua en las tuberías. Éste es uno de los más graves inconvenientes que presenta el trabajo con aire comprimido, pues el contenido de humedad puede afectar los dispositivos de trabajo.
- ✗ *Ruido.* La operación de los elementos de trabajo ocasiona una gran cantidad de ruido lo que obliga al uso de silenciadores en los escapes

de las válvulas. Esto no elimina todo el ruido, pero lo disminuye. También el compresor produce ruido, razón por la cual se debe instalar en un lugar apartado del área de producción de la empresa.

- × *Difícil detección de fugas.* Las fugas normalmente se detectan por el sonido que producen, pero en una industria hay gran presencia de ruido, lo que dificulta el poder determinar si hay presencia de fugas. Esto genera caídas de presión y disminución en el caudal, obligando al compresor a trabajar más tiempo incrementando los costos en el consumo de energía.

Las propiedades más importantes al trabajar son presión y el caudal:

2.2.3 Presión

Es la fuerza ejercida sobre un área determinada, y está dada por la expresión⁴:

$$P = F / A$$

Donde:

P = Presión (Pa)

F = Fuerza ejercida (N)

A = Área de actuación (m²)

⁴ BERRÍO, Luis Geovanny. (2007), Neumática Básica, Colombia, Fondo Ed. ITM Pp. 22

TABLA 2.1. Unidades empleadas para medir presión.

UNIDAD DE PRESIÓN	SÍMBOLO
Pascal	Pa=N/m ²
Libras por pulgada cuadrada	psi=Lbf/pulg ²
Atmósferas	Atm
Milímetros de mercurio	mmHg
Kilogramo fuerza por centímetro cuadrado	kfg/cm ²
Bar	Bar

De igual manera, se emplean diferentes unidades para medir la presión. En la **tabla 2.1** se muestra un listado de algunas de ellas, y en la **tabla 2.2** se indica la relación que existe entre dichas unidades.

TABLA 2.2. Equivalencia entre unidades empleadas para medir presión.

1 ATMÓSFERA	
101.325	kPa
1.02325	bar
14.7	Psi
1.033	Kfg/cm ²
760	mmHg

2.2.4 Caudal

Cantidad de fluido que atraviesa una sección dada, por unidad de tiempo.⁵

$$Q = \text{Volumen} / \text{tiempo} = \text{velocidad} \times \text{área}$$

En la **tabla 2.3** se presenta un listado con algunas de las unidades empleadas para medir caudal.

⁵ BERRÍO, Zabala (2007), Neumática Básica, Colombia, Fondo Ed. ITM Pp 23

TABLA 2.3. Unidades empleadas para medir caudal (Q).

DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Pies cúbicos por minuto	CFM
Metros cúbicos por segundo	m ³ /s
Pies cúbicos por segundo	pies ³ /s
Galones por minuto	gal/min
Litros por hora	l/h

2.2.2 Aplicaciones industriales de la neumática

Debido a sus buenas características, actualmente la neumática es ampliamente utilizada en multitud de aplicaciones y entornos industriales.

La tecnología neumática se usa en sistemas industriales tales como: plataformas elevadoras, apertura y cierre de puertas o válvulas, embalaje y envasado, máquinas de conformado, taladrado de piezas, robots industriales, etiquetado, sistemas de logística, prensas, pulidoras, máquinas, herramientas, etc.

(Figura 2-3).

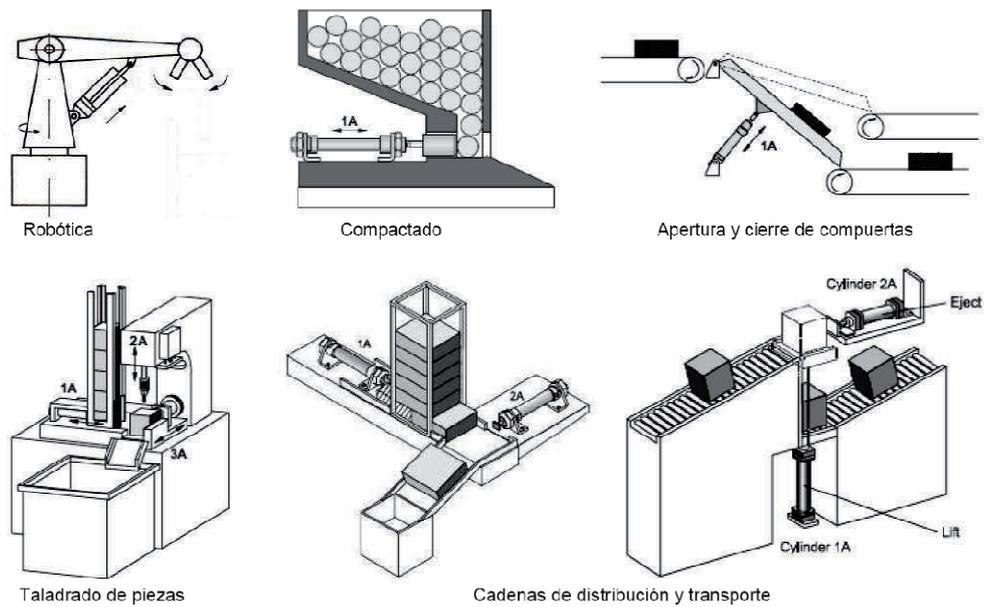


FIGURA 2-3. Aplicaciones de la neumática en la industria.⁶

2.2.5 El circuito neumático

En electricidad es necesario utilizar un circuito eléctrico para usar la energía de la corriente eléctrica (**Figura 2-4**).

En **neumática** es necesario emplear **circuitos neumáticos** para aprovechar la energía del aire comprimido (**Figura 2-5**).

⁶ Obtenida de: http://mydomainwebhost.com/usuarios/web_neumatica/neumatica.html

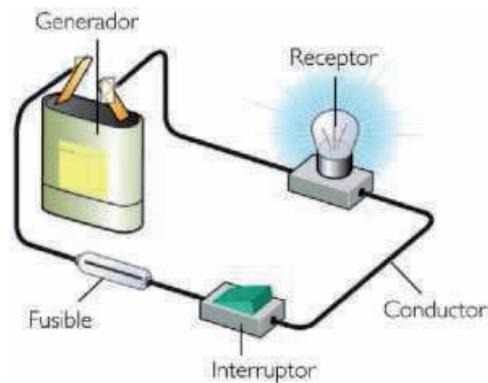


FIGURA 2-4. Circuito eléctrico.⁷

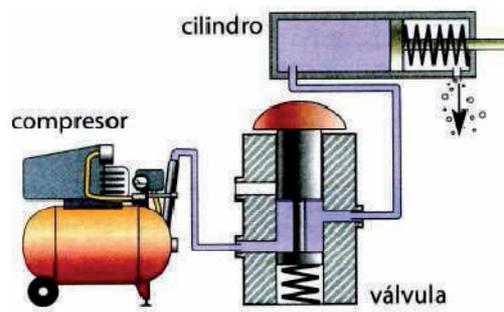


FIGURA 2-5. Circuito neumático⁸

Todo circuito neumático está compuesto por una serie de elementos básicos:

- **Compresor:** Es el dispositivo que comprime el aire de la atmósfera hasta que alcanza la presión de funcionamiento de la instalación.
- **El acumulador:** Es un tanque o depósito donde se almacena el aire para su posterior utilización.
- **Dispositivos de mantenimiento:** Se encargan de acondicionar al aire comprimido, protegiendo el circuito para que la instalación neumática pueda funcionar sin deteriorarse durante mucho tiempo.

⁷ Obtenida de: <http://www.colegioroy.com>

⁸ Obtenida de: <http://encarni-tecnologia.blogspot.com/>

- **Tuberías y conductos:** Son aquellos a los cuales se canaliza el aire para que llegue a los distintos elementos del circuito.
- **Elementos de mando y control:** Son válvulas que se encargan de controlar el funcionamiento del circuito neumático, ya sea permitiendo, interrumpiendo o desviando el paso del aire comprimido según las condiciones de funcionamiento del circuito.
- **Actuadores:** Como los cilindros y motores neumáticos, son los encargados de utilizar el aire comprimido, transformando la presión del aire en trabajo útil.

2.3 ELECTRONEUMÁTICA

En electroneumática, la energía eléctrica sustituye a la energía neumática como el elemento natural para la generación y transmisión de las señales de control que se ubican en los sistemas de mando. Los elementos nuevos y/o diferentes que entran en juego, están constituidos básicamente para la manipulación y acondicionamiento de las señales de voltaje y corriente que deberán de ser transmitidas a dispositivos de conversión de energía eléctrica a energía neumática para lograr la activación de los actuadores neumáticos.

2.3.1 Dispositivos eléctricos.

El conjunto de elementos que debemos introducir para lograr activar los actuadores neumáticos son:

- a) Elementos de retención*
- b) Interruptores mecánicos de final de carrera*
- c) Relevadores*
- d) Válvulas electroneumáticas*

a) Elementos de retención

Son empleados, generalmente, para crear la señal de inicio del sistema, o en su defecto, para realizar paros, ya sea de emergencia o sólo momentáneos. El dispositivo más común es el botón pulsador (**Figura 2-6**).

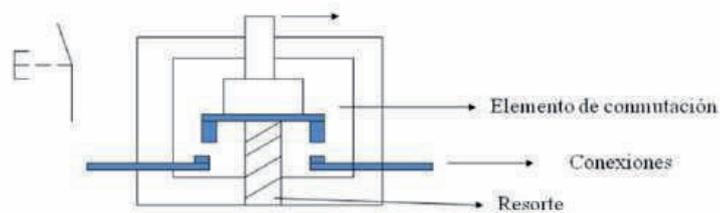


FIGURA 2-6. Botón pulsador normalmente abierto.⁹

b) Interruptores mecánicos de final de carrera

Estos interruptores son empleados, en su mayoría, para detectar la presencia o ausencia de algún elemento por medio del contacto mecánico entre el interruptor y dicho elemento (**Figura 2-7**).

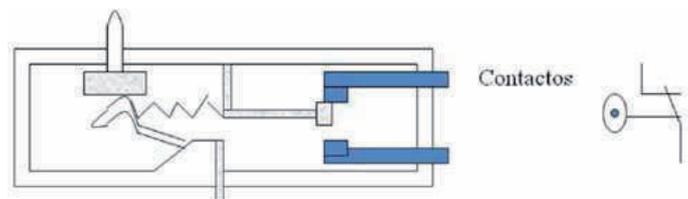


FIGURA 2-7. Interruptor de final de carrera normalmente abierto.¹⁰

⁹ Obtenida de: <http://www.scribd.com/doc/4196787/Electroneumatica>

¹⁰ Obtenida de: <http://www.scribd.com/doc/4196787/Electroneumatica>

c) Relevadores

Son dispositivos eléctricos que ofrecen la posibilidad de manejar señales de control del tipo *on/off*¹¹. Constan de una bobina y de una serie de contactos que se encuentran normalmente abiertos o cerrados. El principio del funcionamiento es hacer pasar corriente por una bobina generando un campo magnético que hace conmutar los contactos de salida.

Son ampliamente utilizados para regular secuencias lógicas en donde intervienen cargas de alta impedancia y para energizar sistemas de alta potencia (**Figura 2-8**).

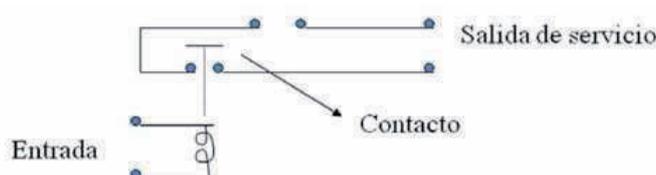


FIGURA 2-8. Funcionamiento del relevador de simple efecto.¹²

d) Válvulas electroneumáticas

El dispositivo medular en un circuito electroneumático, es la válvula electroneumática. Ésta válvula realiza la conversión de energía eléctrica, proveniente de los relevadores, a energía neumática, transmitida a los actuadores o alguna otra válvula neumática.

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

¹¹ (On/off) Encendido/apagado

¹² Obtenida de: <http://www.scribd.com/doc/4196787/Electroneumatica>

La representación de una válvula electro neumática 3/2 de regreso por resorte (Figura 2-9).

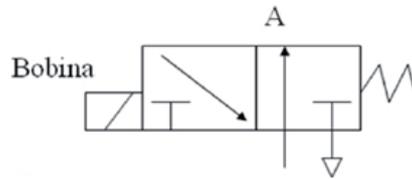


FIGURA 2-9. Válvula electro neumática 3/2 de regreso por resorte.¹³

2.4 EI PLC

El término PLC proviene de las siglas en inglés *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 (Figuras 2-10, 2-11).

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con información correspondiente a los procesos que se desea secuenciar. Esta información es recibida por captadores, que debido al programa lógico interno, logran implementarla a través de los accionadores de la instalación.

¹³ Obtenida de: Software Festo® FluidSim



FIGURA 2-10. PLC Festo® FEC Standard.¹⁴

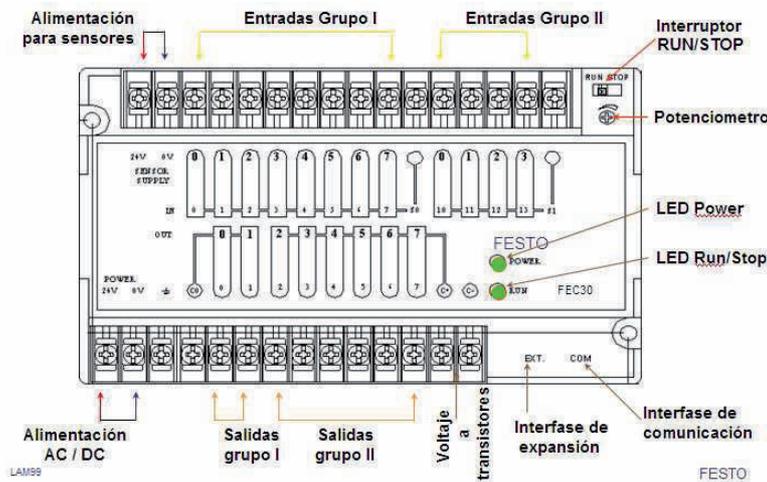


FIGURA 2-11. Distribución de entradas y salidas.¹⁵

2.4.1 Métodos de programación típicos

Varios son los lenguajes o sistemas de programación posibles en los PLC, aunque su utilización no se puede dar en todos, por esto cada fabricante indica en las características generales de su equipo el lenguaje o lenguajes con los que puede operar.

¹⁴ Obtenida de: <http://www.estudiobarone.com.ar/fec-compact.htm>

¹⁵ Obtenida de: <http://www.estudiobarone.com.ar/fec-compact.htm>

En general, se podría decir que los métodos de programación más usuales son aquellos que transfieren directamente el esquema de contactos y las ecuaciones lógicas, pero éstos no son los únicos.

Los métodos gráficos de programación más utilizados son los siguientes:

- a) *Listado de instrucciones*, también conocido como nemónico, booleano, abreviaturas nemotécnicas, (AWL).
- b) *Diagrama de contactos (Ladder diagram)*, plano de contactos, esquema de contactos, (KOP).

Existen además de los métodos...s antes mencionados, otras variaciones que en menor o mayor grado también son muy adecuados cuando trabajamos con equipos de origen Alemán o Francés, como es el lenguaje **STL (Statment List)**. A continuación, una breve descripción de este lenguaje que además será utilizado en la implementación del presente proyecto.

2.4.2 Estructura del Programa STL

El lenguaje STL le permite al programador resolver tareas de control usando expresiones sencillas en inglés que describen la operación deseada del controlador. La naturaleza modular del lenguaje permite al programador resolver tareas complejas de una manera eficiente.

El lenguaje STL como se describe aquí se aplica a los controladores de **Festo Modelos FPC100 B / AF, FPC405, FEC, IPC y SF03**.

La información contenida en este documento corresponde con el lenguaje STL según la implementación del FST Software Versión 4.15. Los programas en

Statement List están contruidos usando diferentes elementos importantes. No es necesaria la totalidad de dichos elementos, siendo importante también la forma en que éstos son combinados, ya que influyen de modo significativo en la operación del programa.

2.5 La masa o pasta (alimento)

La masa o pasta es lo que resulta de mezclar a temperatura ambiente (5°C a 32°C) harina de trigo y otro cereal con agua o leche. Puede ser manipulada para convertirse en la base de la elaboración del pan, tortilla americana, empanadas, galletas, tartas, etc., dependiendo del resultado pretendido (**Figura 2-12**). Puede ser horneada, frita o cocida. La diferencia básica entre la masa y la pasta recae en que la pasta, al ser elaborada a partir de trigo duro, es un poco menos manejable que la masa.



FIGURA 2-12. Masa comestible.¹⁶

¹⁶ Imagen propia

CAPÍTULO 3

REVISIÓN TÉCNICA

En este capítulo se explica detalladamente cada una de las partes a utilizar dentro del proyecto, específicamente las válvulas de 5/2 vías, sensores eléctricos de fin de carrera, sensores magnéticos, reductores de caudal, cilindros actuadores de doble efecto, así como el uso y programación de un PLC para controlar los movimientos de éstos.

3.1 Control de aire comprimido: Válvulas

Hasta ahora se ha visto como generar el aire comprimido con un compresor y como utilizarlo para producir trabajo mediante cilindros.

Sin embargo, también se necesita saber cómo controlar el funcionamiento de un circuito neumático (abrir o cerrar el circuito, dirigir el aire por diferentes conductos, ajustar presiones, etc.). De esto se encargan unos elementos neumáticos adicionales: las válvulas, dispositivos que controlan el paso del aire comprimido.

3.1.1 Parámetros de una válvula.

a) Vías y posiciones:

Las válvulas se nombran por el número de vías (orificios de entrada y salida) y por el número de posiciones (estados que puede adoptar o movimientos que puede realizar).

Ejemplo: válvula 3/2 → válvula con 3 vías y 2 posiciones.

b) Accionamiento de la válvula:

Un parámetro importante de las válvulas es como se accionan: la activación puede ser manual (por pulsador, por pedal), mecánica (por leva, por final de carrera), neumática (mediante aire comprimido) o eléctrica (mediante una señal eléctrica que activa un electroimán o un relé).

c) Retorno de la válvula:

Otra característica fundamental es la forma en que una válvula vuelve a su posición inicial tras la activación. El retorno suele ser por muelle pero también hay retornos neumáticos eléctricos, entre otros.

3.1.2 Electroválvula de 5/2 vías

Las electroválvulas que se usarán en el presente proyecto son 3 electroválvulas 5/2 con pilotaje electroneumático como se muestra en las **Figuras 3-1, 3-2:**

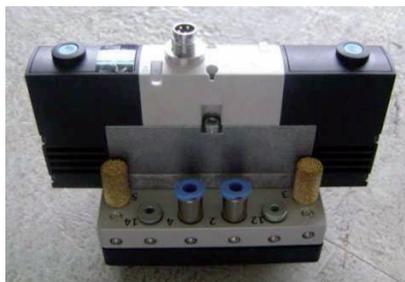


FIGURA 3-1. Electroválvula 5/2 marca Festo ®¹⁷

¹⁷ Imagen propia

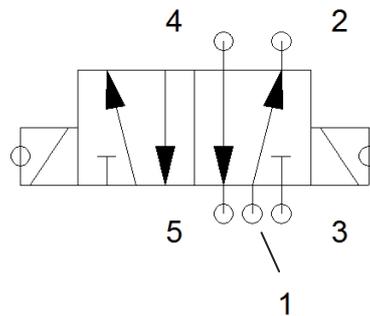


FIGURA 3-2. Diagrama de válvula de 5 vías y 2 posiciones con pilotaje electropneumático.¹⁸

Donde en 1 se conectará la entrada del aire comprimido, mientras que 5 y 3 serán los desfogues de aire y realizarán las funciones de permitir o no la salida del actuador.

En su posición inicial, el muelle acciona el disco de la válvula del paso 1 hacia 3. El muelle también acciona otro disco impidiendo la salida de 1 hacia 4. La junta opuesta también permite la descarga de 4 hacia 5. El disco central permite el paso de 1 hacia 2. La activación del solenoide permite al paso del aire de pilotaje. Al recibir presión del lado derecho, se desplazan todas las juntas internas de la válvula, dando como resultado que el aire escape de 2 hacia 3, el escape 5 queda bloqueado y el aire fluye ahora de 1 hacia 4.

Esta válvula requiere a su vez una señal que la haga regresar a su estado inicial, por lo que en este caso, el aire fluye de 1 hacia 2, mientras 4 se descarga por 5. Al retirar esta señal, la válvula permanece estable y no se producen cambios en ésta.

¹⁸ Obtenida de: Software Festo® FluidSim

3.1.3 Válvulas de regulación de caudal

Las válvulas de regulación de caudal son elementos que nos permiten disponer de diferentes presiones y caudales, pueden ser estranguladoras, temporizadoras y se utilizan para modificar la velocidad de los elementos actuadores llamados de trabajo (**Figura 3-3**). En el presente proyecto se utilizarán 2 de éstas para regular la velocidad de los cilindros actuadores.



FIGURA 3-3. Regulador de caudal marca Festo[®].¹⁹

3.2 Sensores

Los sensores representan los órganos sensoriales de las máquinas y los sistemas en los que se desarrollan los procesos de fabricación automatizados.

Además, están adquiriendo una importancia cada vez mayor, lo que se debe sobre todo a la mayor complejidad de los procesos de fabricación y al alto nivel de seguridad que se exige para dichos procesos.

Los sensores van montados a las entradas del arreglo y los más comunes son:

- Temperatura
- Presión
- Humedad

¹⁹ Obtenida de: <http://www.festo-didactic.com/es-es>

- Velocidad
- Contacto
- Movimiento

3.2.1 Sensor eléctrico de final de carrera

El final de carrera eléctrico tiene un microinterruptor accionado mecánicamente. Cuando se presiona el rodillo, por ejemplo con la leva de un cilindro, se acciona el microinterruptor. El circuito se cierra o se abre a través de los contactos. El microinterruptor puede cablearse como normalmente abierto, normalmente cerrado o como conmutador. **(Figura 3-4)**

Las características del sensor eléctrico de final de carrera son las siguientes:

- Carga de los contactos: Máximo 5 A
- Frecuencia de conmutación: Máximo 200 Hz
- Precisión repetitiva: 0,2 mm
- Recorrido del interruptor: 2,7 mm



FIGURA 3-4. Sensor eléctrico de final de carrera marca Festo[®].²⁰

²⁰ Obtenida de: <http://www.festo-didactic.com/es-es/>

3.2.2 Sensor magnético de posición para cilindros

El sensor magnético detecta de modo continuo la posición del émbolo del cilindro dentro de un margen de 50 mm. Este transmisor dispone de una salida analógica para emitir una señal de salida proporcional a la posición del émbolo. La detección OOR (out-of-range)²¹ integrada indica cuando el émbolo se encuentra fuera del margen de detección. Para evaluar la señal de 0 a 10 V o 4 a 20 mA, la conexión se realiza directamente en las entradas analógicas.

Aplicaciones típicas de detección de objetos:

- Prensar
- Fijar
- Detectar orientación y posición de piezas
- Cambio de piezas

En el sector del control de procesos:

- Manipulación y producción de chapas
- Control de desgaste
- Control de calidad

El sensor magnético puede montarse indistintamente en la ranura, su margen de medición siempre es de 50 mm, independientemente del cilindro. Precisión de repetición de 0,1 mm. **(Figura 3-5).**

²¹ (Out of range) Fuera de rango



FIGURA 3-5. Sensor magnético marca Festo®.²²

3.3 Cilindros de doble efecto

En los cilindros de doble efecto existen dos tomas de aire, una a cada lado del émbolo. Estos cilindros pueden producir movimiento en ambos sentidos: avance y retroceso. El símbolo del cilindro de doble efecto es el que aparece en las **Figuras 3-6, 3-7.**

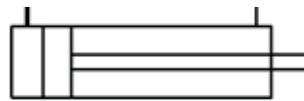


FIGURA 3-6. Símbolo de cilindro de doble efecto.²³

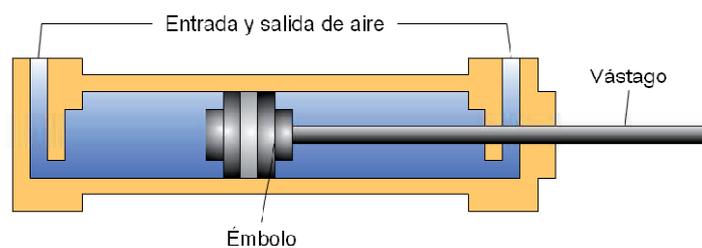


FIGURA 3-7. Estructura de un cilindro de doble efecto.²⁴

²² Obtenida de: <http://www.festo-didactic.com/es-es>

²³ Obtenida de: Software Festo® FluidSim

²⁴ Obtenida de: <http://www.sapiens.itgo.com/neumatica>

3.4 Utilización el PLC

El PLC que se utilizará es un PLC de la marca Festo® (**Figura 3-8**) el cual cuenta con señales de entradas y salidas del tipo digital, con señales de 24V de corriente directa, el cual es conectado a su vez a una terminal que contiene el software necesario con el programa cargado previamente, para que éste funcione de la manera requerida.



FIGURA 3-8. PLC marca Festo®.²⁵

²⁵ Imagen propia.

CAPÍTULO 4

DESARROLLO

En este capítulo se explicarán los pasos que se realizaron para cumplir con el objetivo planteado, el cual consiste en diseñar y construir un prototipo de máquina que simule el proceso de corte, estampado y/o sellado de la masa para diversos alimentos. En el punto 4.1 se ejemplifica la manipulación manual que un operador le realiza a la masa para lograr un resultado específico, para posteriormente desarrollar el método propuesto desde el análisis de los movimientos requeridos para la simulación, pasando por los croquis preliminares, diagramas, programación del PLC, así como el diseño de las dimensiones de cada uno de los elementos que conformarán el prototipo para concluir con la ejecución física y comprobación de su funcionamiento.

4.1 Corte y estampado manual

El presente, es un ejemplo de corte y estampado de masa para galletas de mantequilla (el proceso completo de elaboración puede observarse más a detalle en la sección de ANEXOS).

Dicha etapa del proceso consiste en el corte que se realiza de manera manual por un operador mediante un molde que contiene el relieve de la figura que se pretende formar (**Figura 4-1**), para después retirarlo y así obtener la masa lista para ser horneada (**Figura 4-2**).

Éste movimiento representa un gasto físico importante, ya que el operador debe imprimir con cierta fuerza para que la masa se corte y se estampe, la cual después de hacer diversas pruebas en un báscula se comprobó que se debe aplicar una fuerza de 4 a 5 kilogramos.

Además del gasto físico por parte del operador, la fuerza ejercida por el operario para el corte y estampado no siempre es la misma, debido a la variabilidad innata en del ser humano, por lo que existe la tendencia a repetir el proceso, ya que la pieza no queda bien sellada y/o cortada.



FIGURA 4-1. Corte y estampado manual.



FIGURA 4-2. Figura cortada y sellada.

Con la presente propuesta se pretende utilizar las ventajas antes mencionadas que nos da la automatización, para con ella, realizar el proceso de corte, sellado y/o estampado de la masa, ya que al usar actuadores neumáticos, la fuerza para realizar la actividad será constante, lo cual evitará la variación que se da cuando se efectúa de manera manual. Cabe mencionar que el sellado requiere un tiempo para que la masa tome la forma deseada, el cual, a través de la propuesta se

podrá variar para adecuarse a las características de la masa con la que se esté trabajando y las necesidades del operador.

Asimismo, además de la automatización del proceso, se podrá obtener un mayor control sobre las piezas terminadas, de modo que éste pueda ser variado dependiendo del número de piezas que se pretenda hacer.

4.2 Descripción del proceso propuesto

La masa se colocará en una base para ser cortada, para efectos de la simulación, la medida propuesta para las bases será de 8 centímetros (**Figura 4-3**), las cuales serán colocadas en una rampa de alimentación donde se pondrán en fila y entrarán al proceso por gravedad, en un sistema de “primera entrada, primera salida”.

Al llegar al final de la rampa de alimentación el cilindro A (alimentador) se accionará para empujar la pieza hacia el sellado, cuando éste llegue a su final de carrera, el cilindro B (sellador/cortador) se accionará desde la parte superior para realizar el corte y sello de la masa; después de un tiempo previamente establecido acorde con la característica de la masa y las necesidades del operador, el cilindro B regresará a su posición inicial, cuando éste llegue a su inicio, el cilindro A también regresa a su posición inicial.

Cabe mencionar que el cilindro A no regresará a su posición inicial antes que B, ya que sujetará la pieza para que ésta no tenga movimiento y así realizar un corte y sellado más exacto. Una vez que el cilindro A y B se encuentren en su posición inicial, se accionará el cilindro C (fin de proceso), para con esto enviar la pieza cortada y/o sellada hacia una rama de salida del proceso.

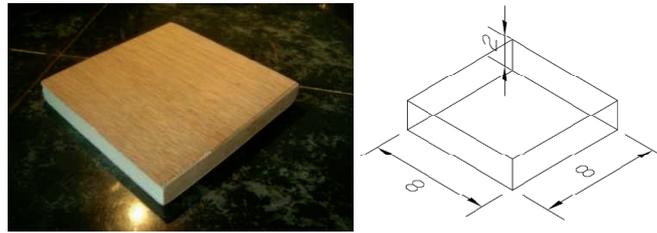


FIGURA 4-3. Base de madera

Dimensiones y peso

LADO 1	LADO 2	ANCHO	PESO
8 cm	8 cm	2 cm	30 gr

4.3 Representación de las fases de trabajo

Con el objeto de facilitar el reconocimiento rápido y seguro de los movimientos de los elementos en el proceso, es preciso representar las secuencias y los estados de comunicación existentes, para con esto lograr un mejor entendimiento para su comprensión y construcción del modelo y de sus conexiones.

Para explicar las diferentes formas de representación utilizaremos lo siguiente:

- a) *Croquis de situación.*
- b) *Descripción de las fases en orden cronológico.*
- c) *Representación en forma de tabla.*
- d) *Representación simbólica de los movimientos.*
- e) *Diagrama espacio fase.*
- f) *Diagrama de mando.*

a) *Croquis de situación.* (Figuras 4-4, 4-5, 4-6, 4-7, 4-8, 4-9)

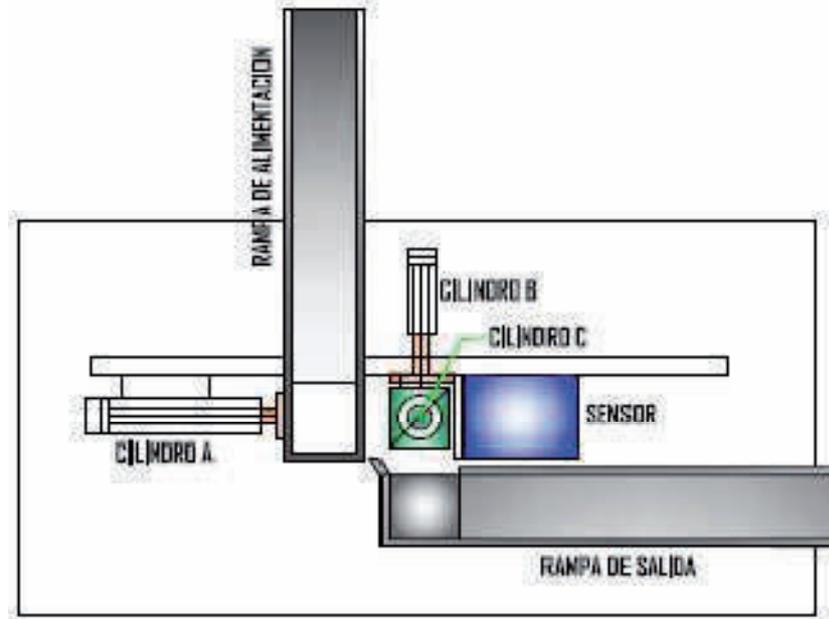


FIGURA 4-4. Croquis de situación (Vista planta).

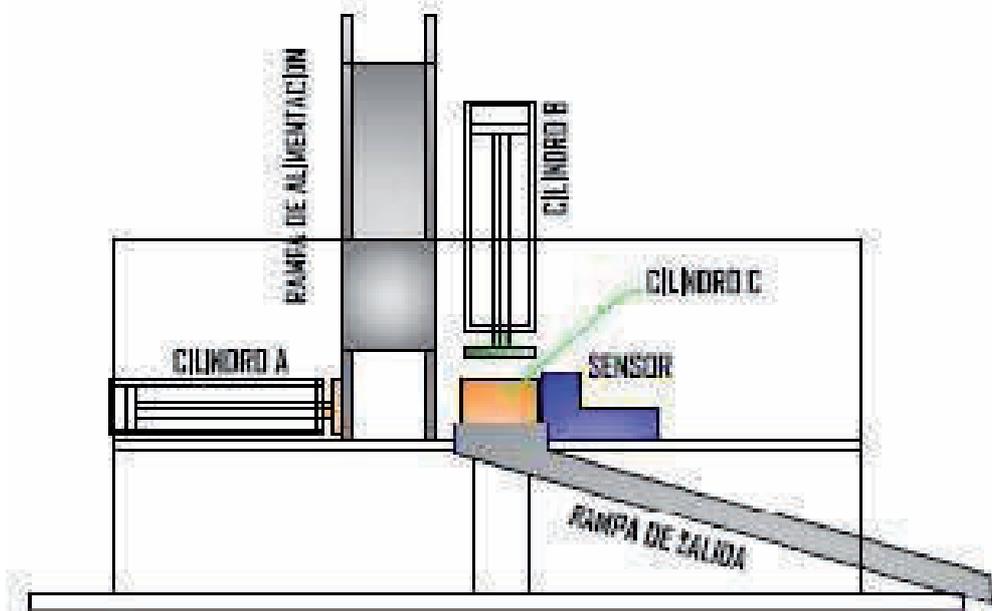


FIGURA 4-5. Croquis de situación (vista lateral).

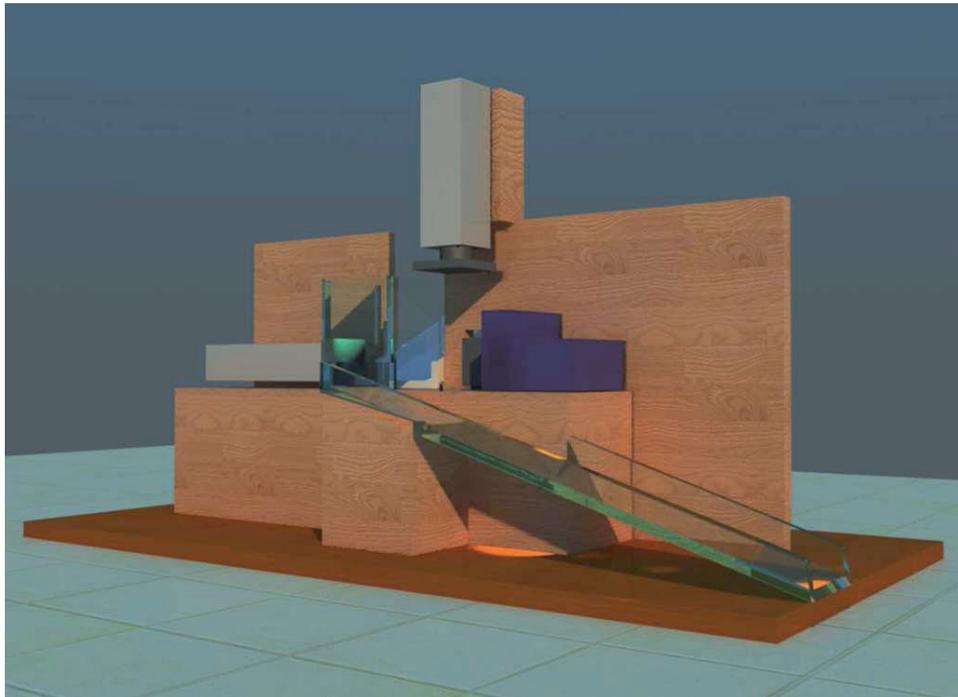


FIGURA 4-6. Croquis de situación 3D (vista 1).

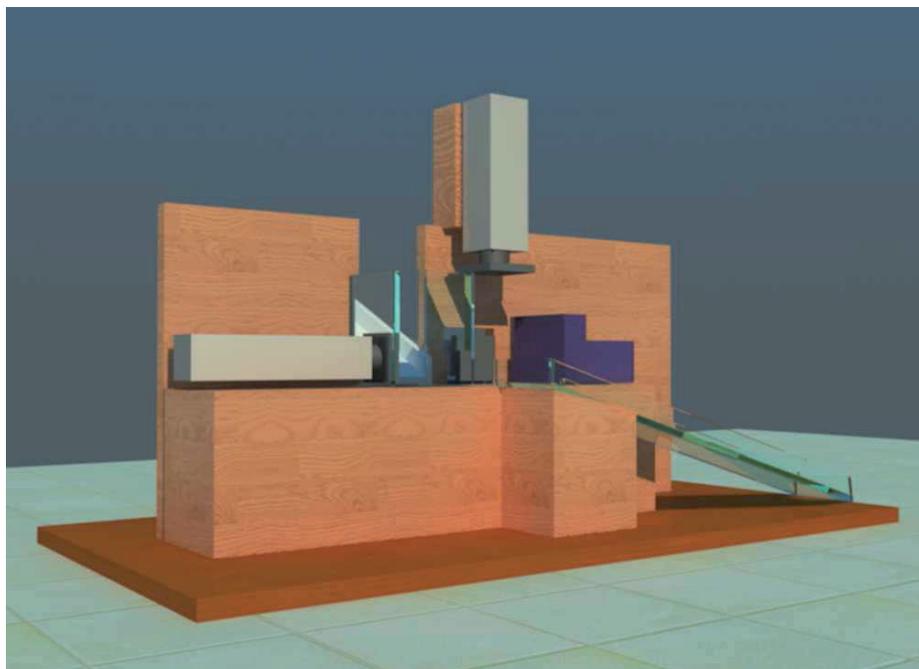


FIGURA 4-7. Croquis de situación 3D (vista 2).

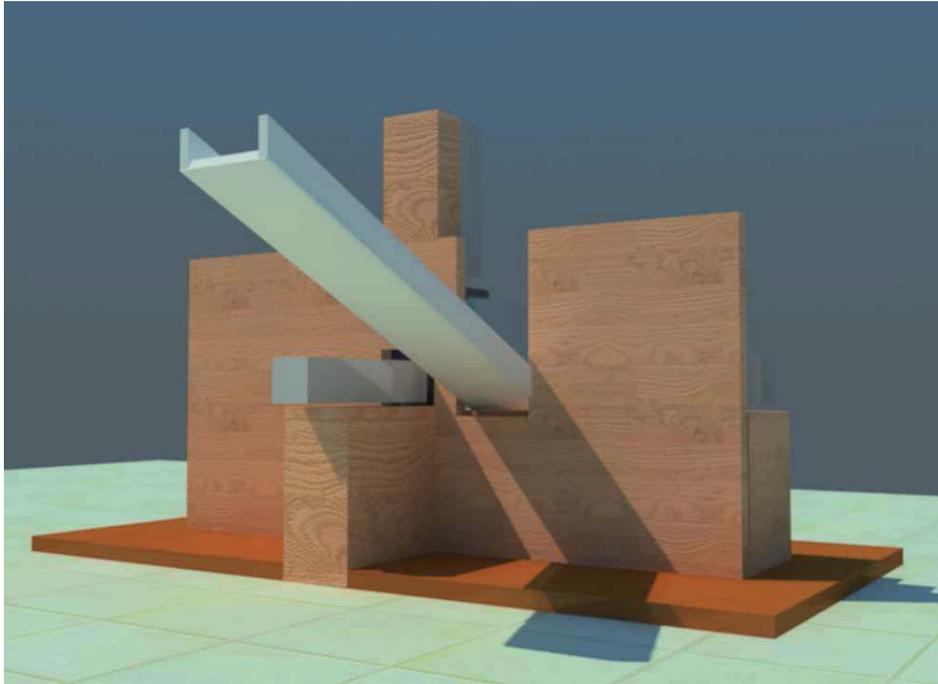


FIGURA 4-8. Croquis de situación 3D (vista 3).

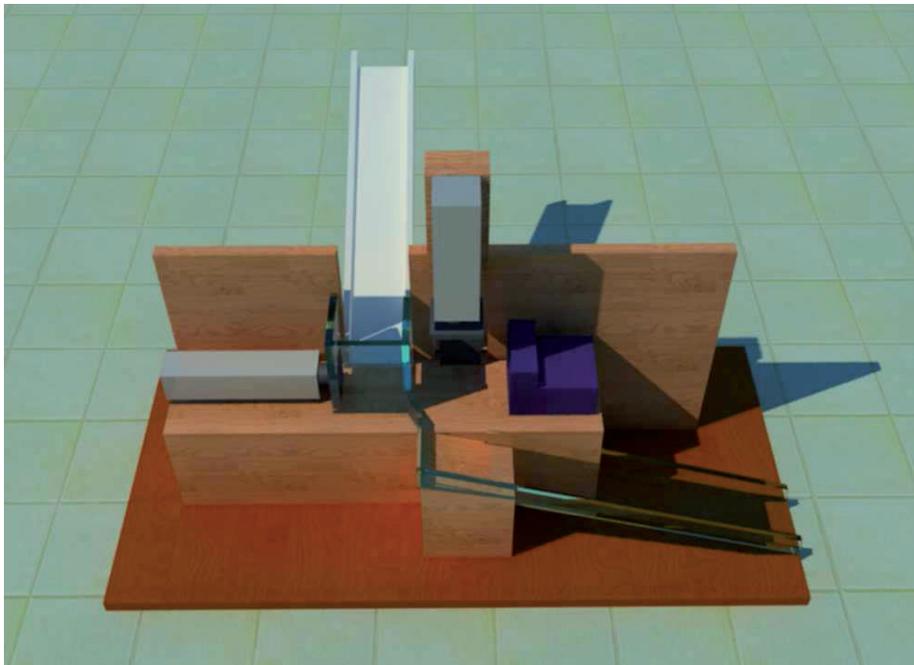


FIGURA 4-9. Croquis de situación 3D (vista 4).

b) Descripción de las fases en orden cronológico.

ELEMENTOS DE TRABAJO	FASES DE TRABAJO
CILINDRO A	La pieza es empujada hacia la estampadora
CILINDRO B	La pieza es cortada y sellada
CILINDRO B	Retorno a la posición inicial
CILINDRO A	Retorno a la posición inicial
CILINDRO C	La pieza es empujada a rampa de salida
CILINDRO C	Retorno a la posición inicial

c) Representación en forma de tabla

FASE	MOVIMIENTO CILINDRO A EMPUJAR	MOVIMIENTO CILINDRO B ESTAMPAR	MOVIMIENTO CILINDRO C SALIDA
1	AVANCE	-	-
2	-	AVANCE	-
3	-	RETROCESO	-
4	RETROCESO	-	-
5	-	-	AVANCE
6	-	-	RETROCESO

d) Representación simbólica de los movimientos

Para la representación simbólica de los movimientos necesarios, se designará el avance y el retroceso de los cilindros actuadores de la siguiente manera:

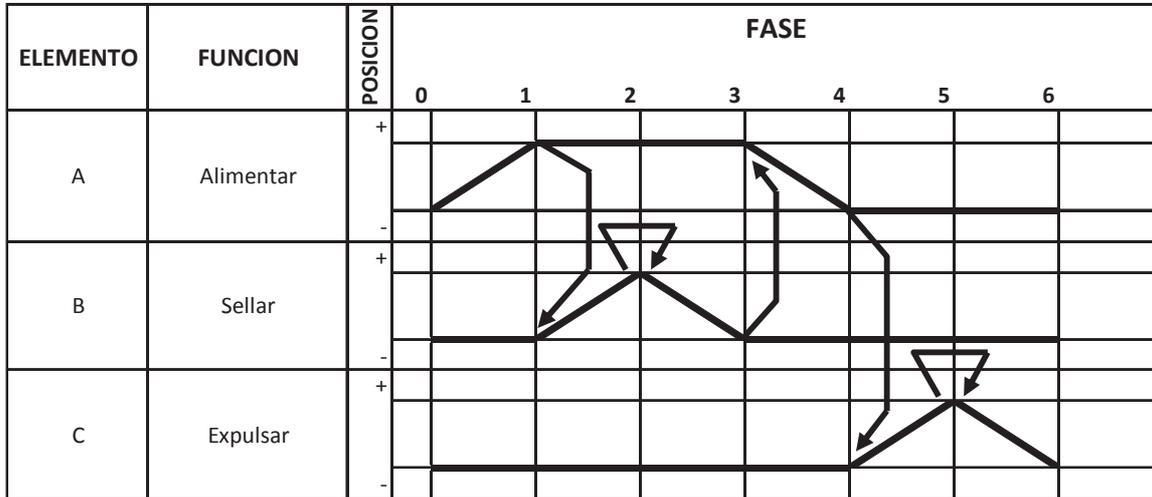
⇒ Carrera de avance con: +

⇒ Carrera de retroceso con: -

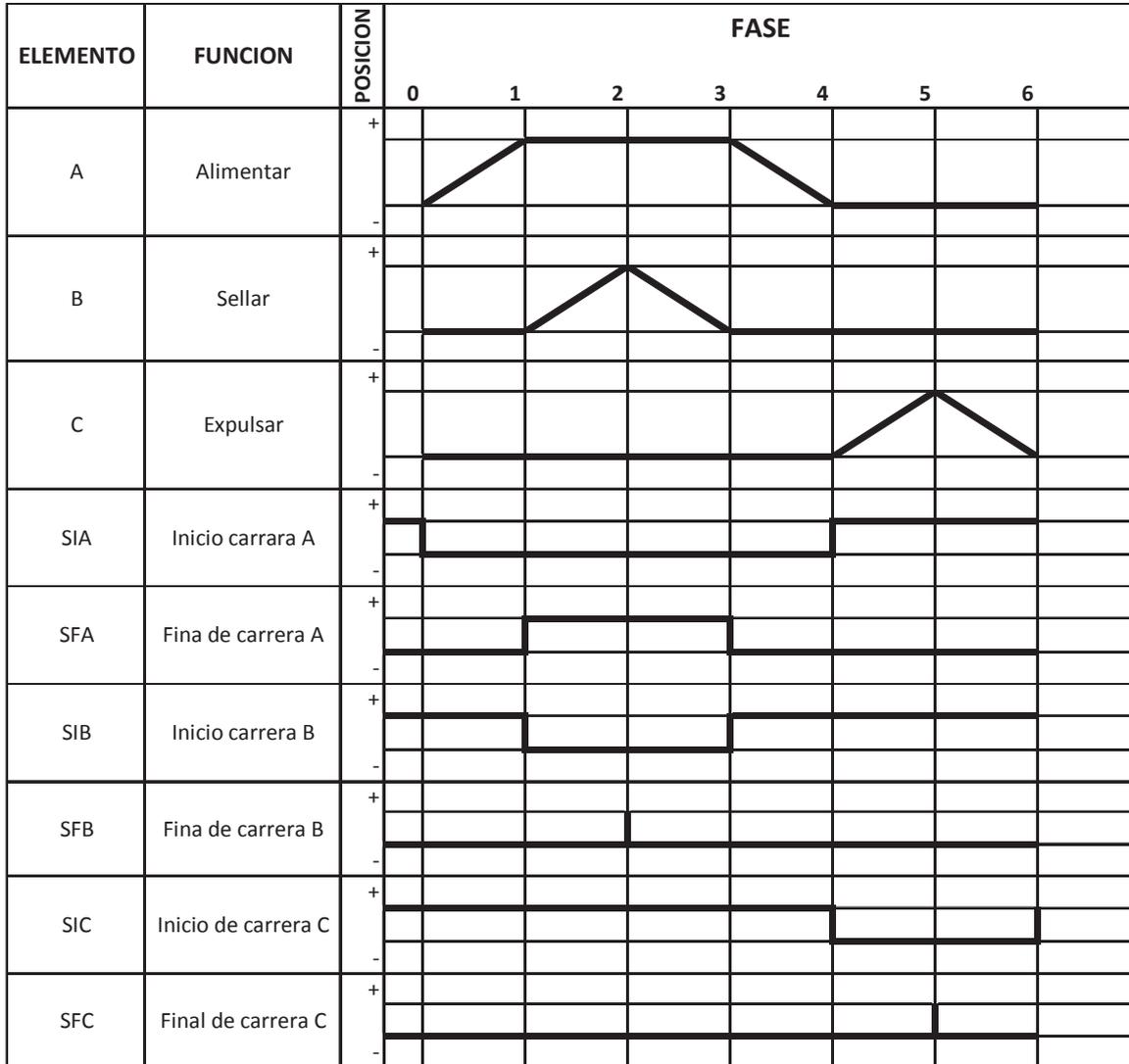
La representación simbólica quedaría de la siguiente manera:

A+ B+ | t | B- C+ | C-

e) *Diagrama espacio fase*



f) Diagrama de mando



4.4 Programa para la simulación²⁶

```

STEP Inicio
IF          Boton1          'I0.0 Botón de inicio de ciclo
THEN LOAD  V10
      TO    CW0             'CW0 Contador de valor 10
      RESET Indicador      'o0.6 luz indicador final de tiempo

STEP Ciclo
IF          Boton2          'I0.1 Botón de inicio
THEN JMP TO Avance_a

STEP Avance_a
IF          N      Boton2    'I0.1 Botón de inicio
      AND      SIA      'I0.2 Sensor inicio de A
      AND      SIB      'I0.3 Sensor inicio de b
      AND      SIC      'I0.4 Sensor inicio de C
THEN SET    BAA          '00.0 Bobina avance de A

STEP Avance_b
IF          SFA          'I0.5 Sensor final de A
      AND      SIB      'I0.3 Sensor inicio de b
      AND      SIC      'I0.4 Sensor inicio de C
THEN SET    BAB          '00.1 Bobina avance de B
      RESET  BAA          '00.0 Bobina avance de A

STEP Tiempo
IF          SFA          'I0.5 Sensor final de A
      AND      SFB      'I0.6 Sensor final de B
      AND      SIC      'I0.4 Sensor inicio de C
THEN SET    tiempo      'T0 Tiempo 3seg
      WITH    3s
      RESET  BAB          '00.1 Bobina avance de B

STEP Retro_b
IF          SFA          'I0.5 Sensor final de A
      AND      SFB      'I0.6 Sensor final de B
      AND      SIC      'I0.4 Sensor inicio de C
      AND      N      tiempo 'T0 Tiempo 3seg
THEN SET    BRB          '00.4 Bobina retroceso de b

STEP Retro_a

```

²⁶ Programa compilado en FST (software cortesía de FESTO®)

CAPÍTULO 4

DESARROLLO

```
IF          SFA          'I0.5 Sensor final de A
  AND      SIB          'I0.3 Sensor inicio de b
  AND      SIC          'I0.4 Sensor inicio de C
THEN SET    BRA          '00.3 Bobina retroceso de A
  RESET    BRB          '00.4 Bobina retroceso de b
STEP Avance_c
IF          SIA          'I0.2 Sensor inicio de A
  AND      SIB          'I0.3 Sensor inicio de b
  AND      SIC          'I0.4 Sensor inicio de C
THEN SET    BAC          '00.2 Bobina avance de C
  RESET    BRA          '00.3 Bobina retroceso de A
STEP Retro_c
IF          SIA          'I0.2 Sensor inicio de A
  AND      SIB          'I0.3 Sensor inicio de b
  AND      SFC          'I0.7 Sensor final de C
THEN SET    BRC          '00.5 Bobina retroceso de C
  RESET    BAC          '00.2 Bobina avance de C
STEP Acumulado
IF          SIA          'I0.2 Sensor inicio de A
  AND      SIB          'I0.3 Sensor inicio de b
  AND      SIC          'I0.4 Sensor inicio de C
THEN RESET  BRC          '00.5 Bobina retroceso de C
  DEC      CW0          'CW0 Contador de valor 10
STEP Conteo
IF          SIA          'I0.2 Sensor inicio de A
  AND      SIB          'I0.3 Sensor inicio de b
  AND      SIC          'I0.4 Sensor inicio de C
  AND      C0           'Numero de ciclos
THEN JMP TO Avance_a
IF          SIA          'I0.2 Sensor inicio de A
  AND      SIB          'I0.3 Sensor inicio de b
  AND      SIC          'I0.4 Sensor inicio de C
  AND      N           C0           'Numero de ciclos
THEN SET    Indicador   'o0.6 luz indicador final de tiempo
  JMP TO Inicio
```

4.4.1 Explicación del programa

A continuación se explicará de forma detallada cada uno de los **STEPS** (pasos) que realiza el programa para la operación del PLC:

- **STEP Inicio**

Este es el inicio del programa, el cual espera a que el usuario presione el botón de inicio (Boton1), el cual reinicia el contador, para que posteriormente cargue el valor de la variable del contador, en este caso 10 piezas.

- **STEP Ciclo**

En esta etapa el usuario deberá presionar el botón de inicio (Boton2) para que el programa comience a correr.

- **STEP Avance_a**

Una vez presionados los botones antes mencionados y todos los cilindros actuadores en su inicio de carrera, el cilindro A se accionará, el cual alimenta al sellador.

- **STEP Avance_b**

Cuando el cilindro A haya llegado a su final de carrera, el cilindro B se accionará, dicho actuador es el que realiza el corte y/o estampado de la masa.

- **STEP Tiempo**

Cuando el cilindro B llegue a su final de carrera, éste permanecerá ahí hasta que se cumpla el tiempo asignado a esta variable, que en este caso corresponde a 3 segundos, los cuales pueden ser modificados en caso de

ser necesario dependiendo del proceso en el que se esté trabajando. Una vez cumplido este tiempo pasará al siguiente paso.

- **STEP Retro_b**

Una vez que se cumplió el tiempo establecido, se regresa el cilindro B a su inicio de carrera.

- **STEP Retro_a**

Cuando el cilindro B, llega a su inicio de carrera, el cilindro A se regresa también a su inicio de carrera.

g) STEP Avance_c

Ya que el cilindro B regresa a su inicio, el cilindro C es accionado, dicho cilindro es el encargado de sacar la pieza sellada y/o cortada a la rampa de salida.

h) STEP Retro_c

Cuando el cilindro C llega a su final de carrera, y habiendo sacado el producto terminado a la rampa de salida, éste regresa a su inicio de carrera.

i) STEP Acumulado

En esta etapa del programa el contador se decrementa en uno.

j) STEP Conteo

Al llegar a este paso, se cuenta el número de ciclos, si aun no se cumple la condición de ciclos programados, éste se regresará al paso de Avance_a para realizar de nuevo los pasos, si no se cumple la condición y el número de piezas llego al establecido, encenderá una luz indicadora de fin de ciclo y se detendrá la secuencia, hasta que se presionen de nuevo los botones de reinicio al contador (Boton1) e inicio de ciclo (Boton2).

4.5 Montaje en tablero de laboratorio

En base a los elementos necesarios que se enumeraron anteriormente y compilar y descargar el programa en el PLC, se procedió a realizar el armado en el tablero del laboratorio de Ingeniería Industrial con el fin de comprobar que tanto la programación del PLC como los elementos elegidos fueran los correctos y todo funcionara conforme a lo planeado, como lo ilustra la siguiente imagen (**Figura 4-10**):

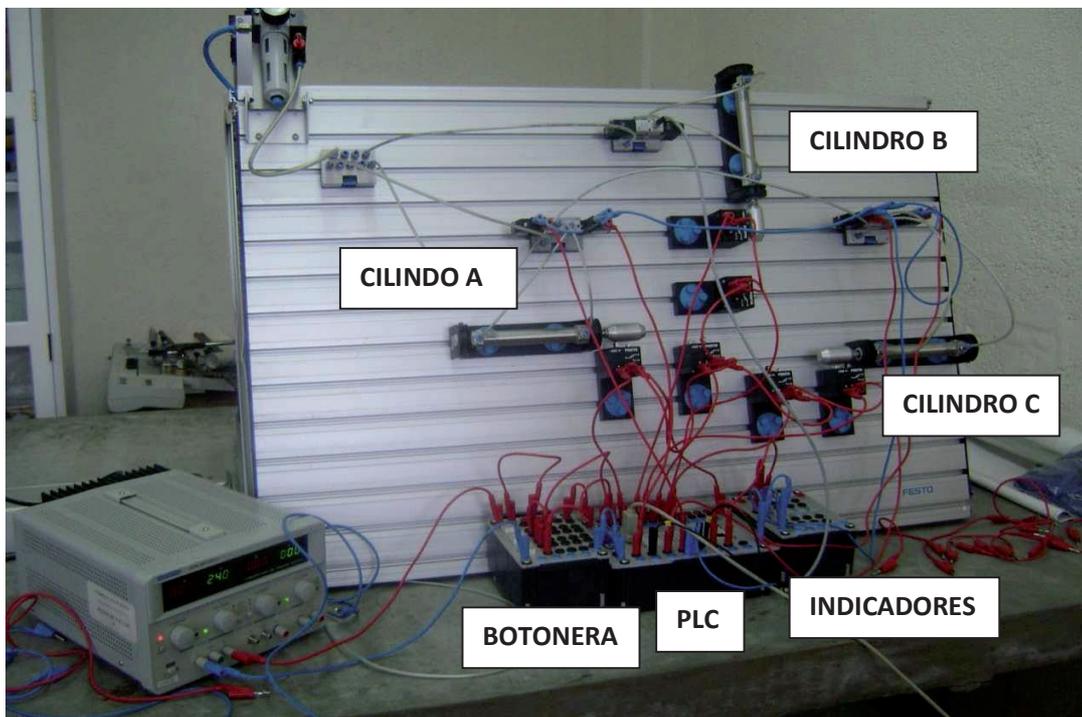


FIGURA 4-10. Montaje en el tablero.

Con esto se comprobó que la programación y la secuencia de operación de los cilindros actuadores era la correcta, con lo que se procedió al diseño de cada una de las partes del prototipo para posteriormente realizar su construcción. El video de la simulación se puede observar en la siguiente liga de internet: <http://www.youtube.com/watch?v=pLlhh8m9Hj0>.

4.6 Diseño del prototipo

Una vez que se comprobó que los elementos fueran los necesarios y la programación fuera la correcta, conforme a lo montado y haciendo la prueba en el tablero del laboratorio, se procedió a diseñar el modelo del prototipo dimensionando todas y cada una de las partes que la conforman, en base a las dimensiones de los diversos componentes a usarse, así como el recorrido de los cilindros actuadores ya que estas dimensiones deben ser calculadas de manera exacta puesto que cualquier variación podría afectar el buen funcionamiento del prototipo al momento de realizar la simulación.

Para lo anterior, primeramente se elaboró el diseño general con sus respectivas dimensiones, para después extraer las dimensiones de cada uno de sus componentes y con ello poder construir el diseño.

4.6.1 Dimensiones generales

Para la construcción del prototipo de la máquina cortadora y estampadora, primero se realizó el diseño a computadora en 3 dimensiones (**Figuras 4-11, 4-12**), tomando en cuenta el tamaño de las bases, los vástagos de los cilindros actuadores, inclinación y el tamaño de las rampas; con ello, se logro que todo estuviera perfectamente calculado con el fin de no tener ninguna interferencia o problema con el recorrido de las piezas.

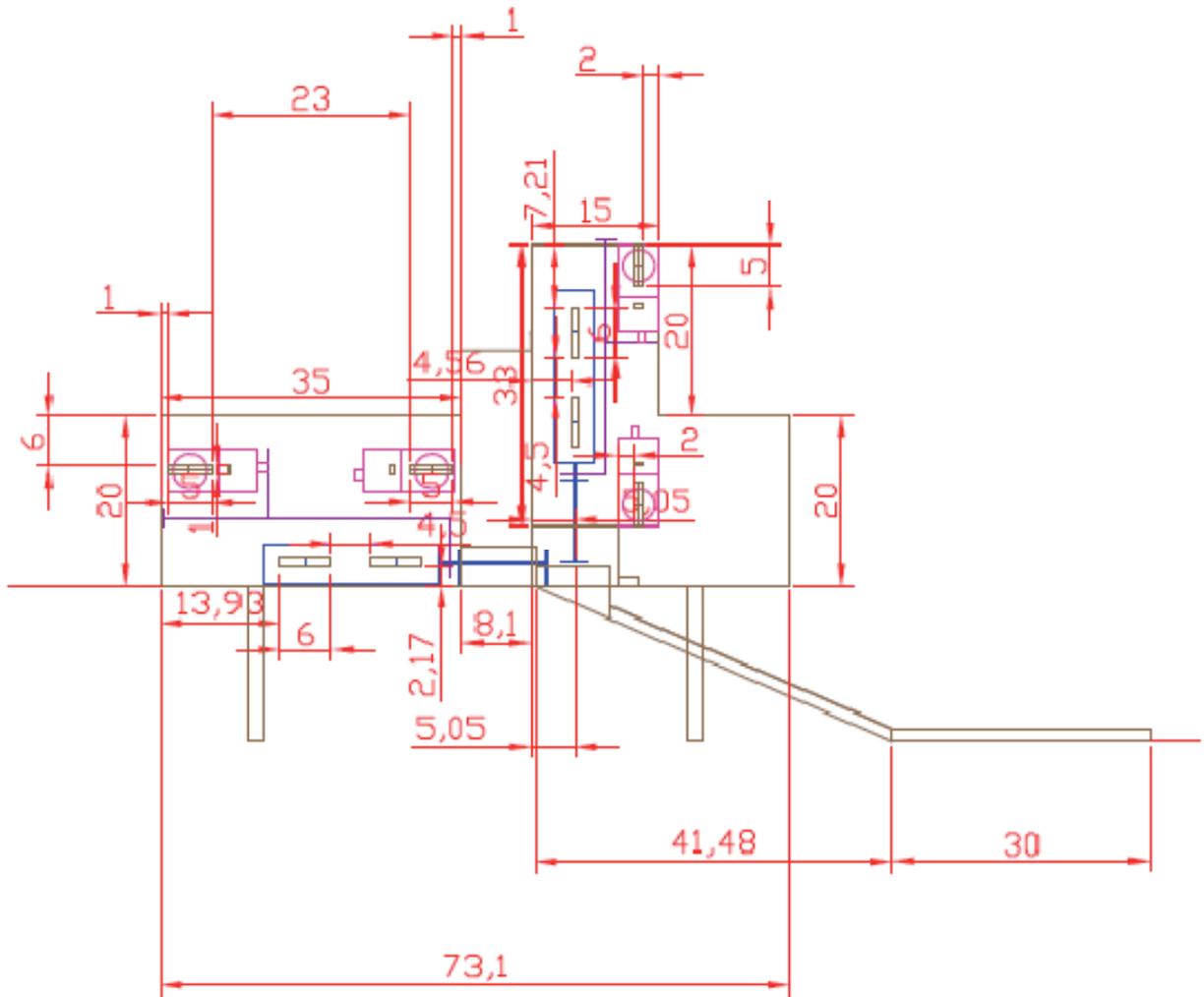


FIGURA 4-11. Diseño de máquina (vista frontal)

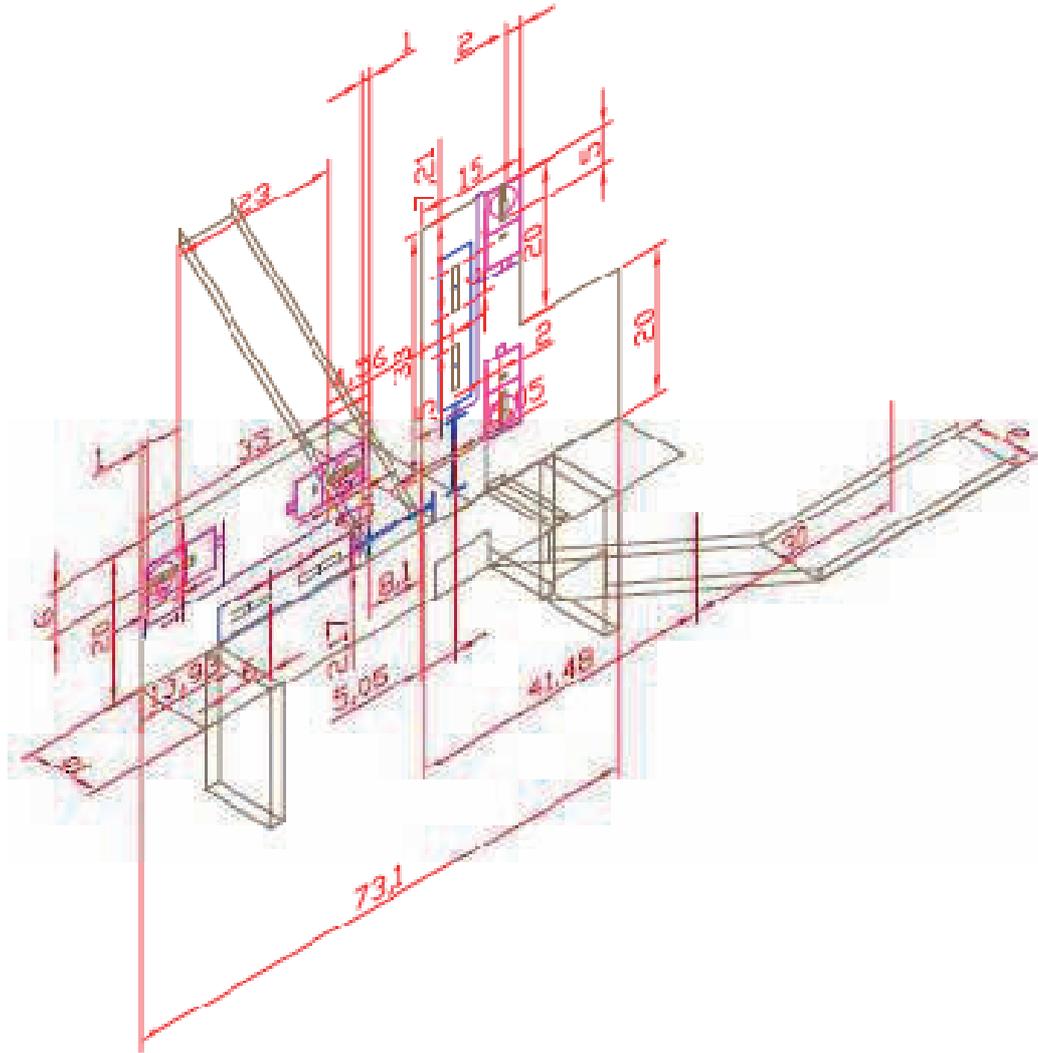


FIGURA 4-12. Diseño de máquina (vista lateral 3D)

4.6.2 Diseño por partes

Para poder llegar al modelo final, primero se tuvieron que desglosar cada una de las partes que conforman el modelo, asegurando así que tuvieran el tamaño exacto para posteriormente seguir con el diseño por computadora y con esto evitar errores posteriores al armado de la máquina.

Las dimensiones de cada una de las partes que la componen se acotaron en centímetros como lo muestran las **Figuras 4-13, 4-14, 4-15, 4-16, 4-17, 4-18, 4-19, 4-20**:

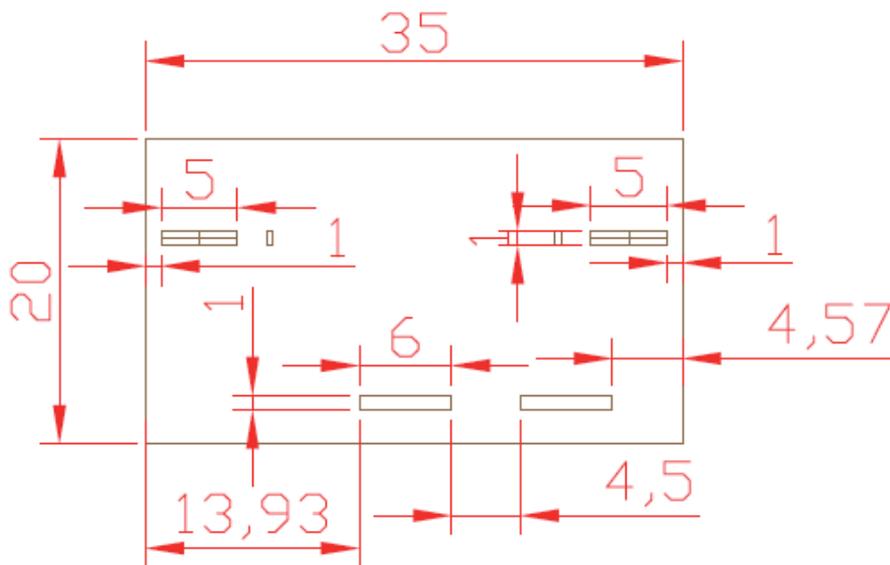


FIGURA 4-13. Base de cilindro actuador A

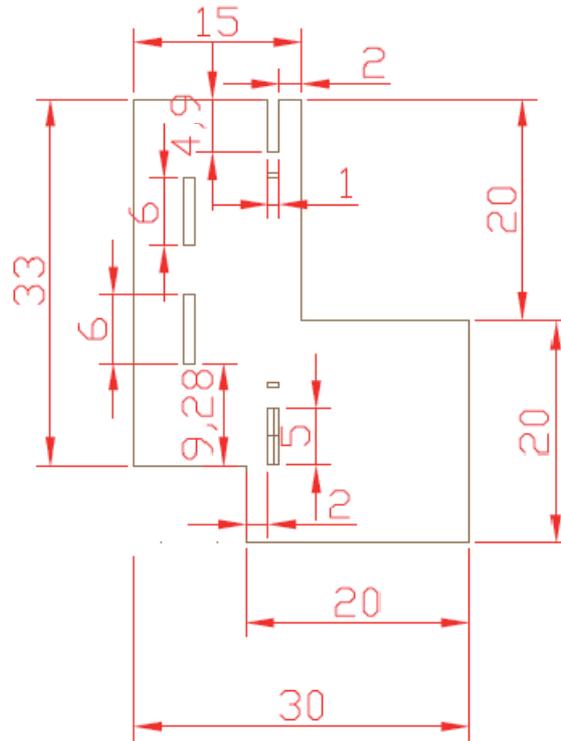


FIGURA 4-14. Base de cilindro actuador B

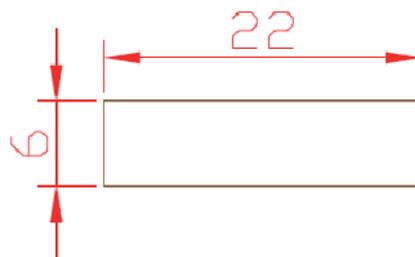


FIGURA 4-15. Base de cilindro actuador C



FIGURA 4-16. Base general

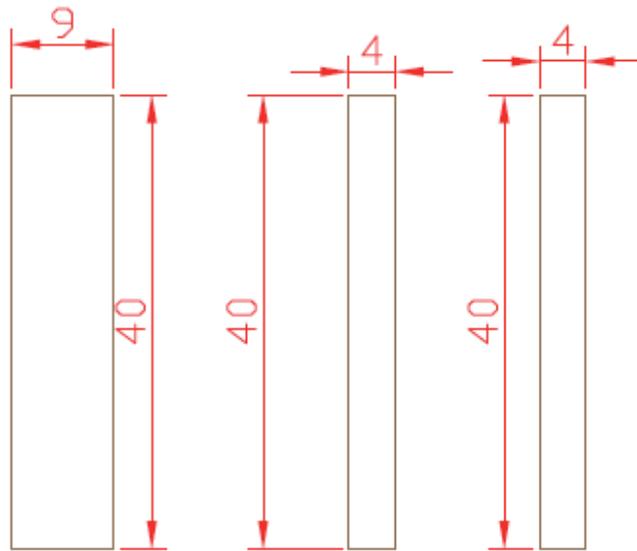


FIGURA 4-17. Rampa alimentadora y barras de retención.

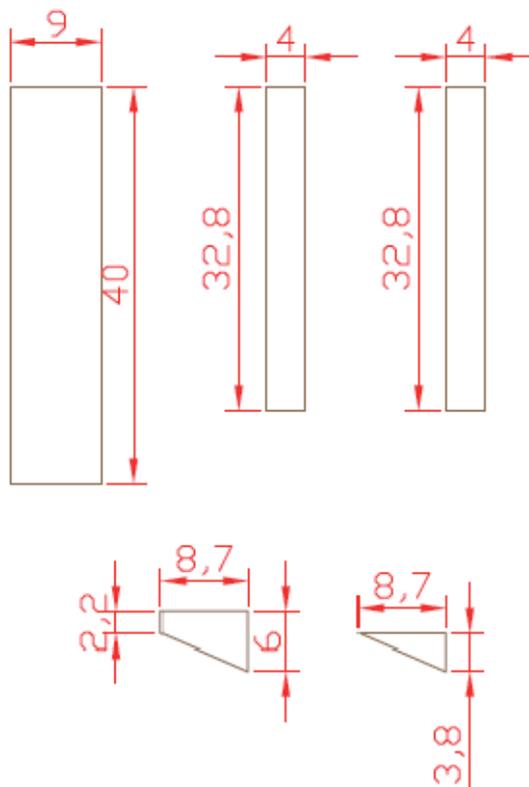


FIGURA 4-18. Rampa de salida del estampador y barras de retención.

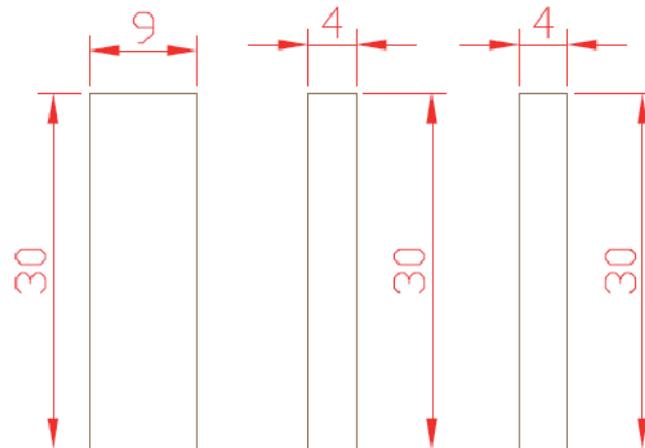


FIGURA 4-19. Base de rampa de salida y barras de retención.

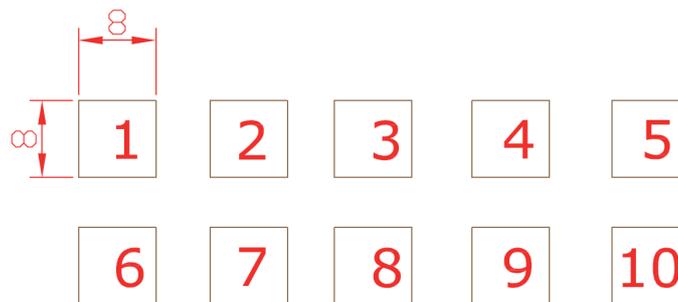


FIGURA 4-20. Bases de cada galleta.

NOTA: El material usado para toda la máquina simuladora es madera con un grosor de 2 cm.

4.7 Construcción de prototipo.

Se realizó el corte de cada una de las piezas conforme a las medidas estipuladas previamente en el diseño a computadora, cuidando que los cortes y perforaciones se efectuaran en los lugares específicos marcados para cada una de las piezas, ya que algún error significaría que la simulación pudiera fallar.

Se comenzó realizando los cortes de las bases de los cilindros actuadores A, B y C. (Figuras 4-21, 4-22).



FIGURA 4-21. Corte bases de cilindros actuador A y B.



FIGURA 4-22. Corte base cilindro actuador C.

Después de haber realizado los cortes de las bases, se procede a agujerar las bases donde van a ir montados los cilindros actuadores, estas dos aberturas tendrán un tamaño de 6 cm de largo con la finalidad de tener un rango de ajuste de cada actuador (Figura 4-23).



FIGURA 4-23. Realización de aberturas para los actuadores.

Una vez cortadas las piezas con sus respectivas aberturas, se procede a armar las rampas, tanto la alimentadora como la de salida del proceso, con sus barras de retención correspondientes a los lados. Es importante considerar que una vez que se tengan cortadas las piezas para las rampas, hay que lijarlas bien y colocarles cera para disminuir al mínimo la fricción de la madera para que las bases puedan bajar de manera más rápida (**Figuras 4-24, 4-25**).



FIGURA 4-24. Proceso de lijado de rampas.



FIGURA 4-25. Armado de rampas alimentadora y de salida.

Cabe mencionar que tanto las barras de retención como el final de la rampa alimentadora y de salida del producto, llevan un cierto ángulo para que éstas puedan ensamblar en el proceso de armado final (**Figura 4-26**).



FIGURA 4-26. Corte al final de las barras de retención.

Una vez que se tienen todas las partes, se procede al armado de todas las piezas teniendo cuidado de que éstas vayan armadas de acuerdo al diseño inicial, ya que cualquier alteración en las medidas puede afectar dicho modelo (**Figura 4-27**).



FIGURA 4-27. Armado de rampa alimentadora con bases de actuadores.

Ya que armamos todas las piezas conforme al diseño inicial, éste queda completo (**Figura 4-28**).



FIGURA 4-28. Máquina estampadora terminada

4.8 Simulación final del prototipo

Una vez terminado el diseño y armado del prototipo de máquina cortadora y estampadora, y después de hacer diferentes pruebas para comprobar su correcto funcionamiento, se procedió a realizar el armado del prototipo y la simulación final del proceso en el laboratorio de Ingeniería Industrial.

Respectivamente, se conectaron las 3 electroválvulas antes mencionadas en el tablero del laboratorio, las cuales se encargan del movimiento de los cilindros actuadores, además de 2 reductores de caudal (**Figura 4-29**), con el fin de controlar la velocidad de avance tanto del cilindro A (alimentador de producto), como del cilindro C, salida de producto, ya que se requiere que éste movimiento no se haga de manera brusca ya que las bases podrían desajustarse.

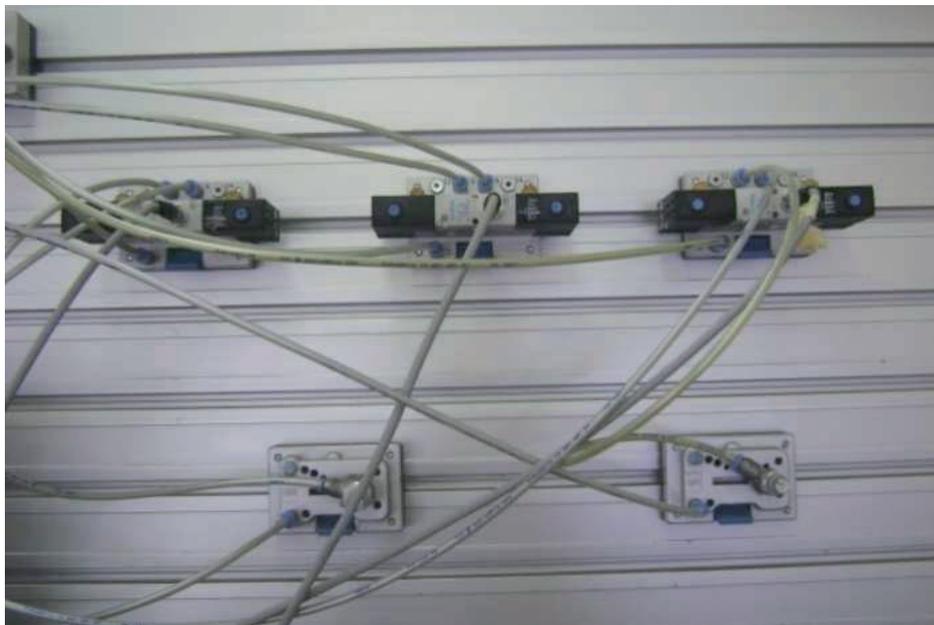


FIGURA 4-29. Electroválvulas y reductores de caudal

Una vez colocadas las electroválvulas y las reductoras de caudal, se montaron los cilindros actuadores en los espacios correspondientes, previamente diseñados en el prototipo como se muestra en las **Figuras 4-30, 4-31, 4-32:**



FIGURA 4-30. Cilindro A (entrada de producto).



FIGURA 4-31. Cilindro B (sellador).



FIGURA 4-32. Cilindro C (salida de producto).

Para controlar los movimientos de los cilindros actuadores, se colocaron sensores magnéticos al inicio y al final de cada uno de ellos (**Figura 4-33**), esto a diferencia de los sensores colocados en la simulación en el tablero descrita en el Capítulo 4, sección 4.5 Montaje en el laboratorio, ya que después de hacer varias pruebas se concluyó que estos sensores eran los idóneos para dicho diseño.



FIGURA 4-33. Sensor magnético.

Ya que se colocaron los cilindros actuadores, las válvulas y electroválvulas necesarias para la simulación, se realizó la conexión de todos los elementos con el PLC, al cual se le descargó previamente el programa antes mencionado en el Capítulo 4, sección 4.4, así como el módulo de interruptores que usaremos para iniciar el ciclo y reiniciar el contador cuando éste haya llegado a su final, además de un módulo de indicadores luminosos, el cual nos indicará cuando la simulación termine con el número de piezas programadas, que en este caso corresponde a 10, pero puede variar dependiendo de la necesidad del usuario (**Figura 4-34**).

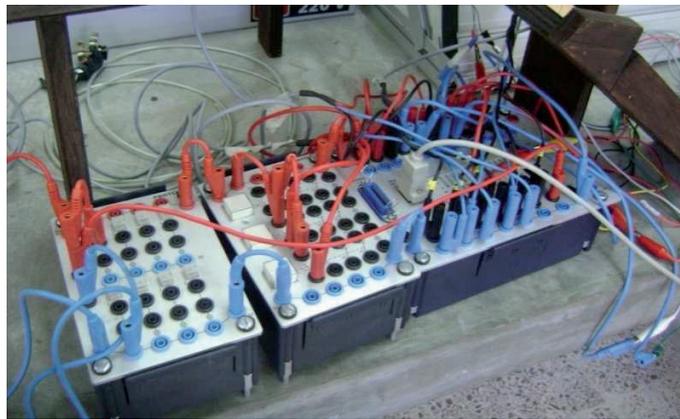


FIGURA 4-34. PLC y módulos de interruptores e indicadores luminosos.

Al terminar de realizar y revisar todas las conexiones requeridas para lograr la simulación (**Figura 4-35**), se procedió a probar el correcto funcionamiento del prototipo de máquina estampadora y selladora de masa, con lo cual se comprobó que la secuencia funciona perfectamente.

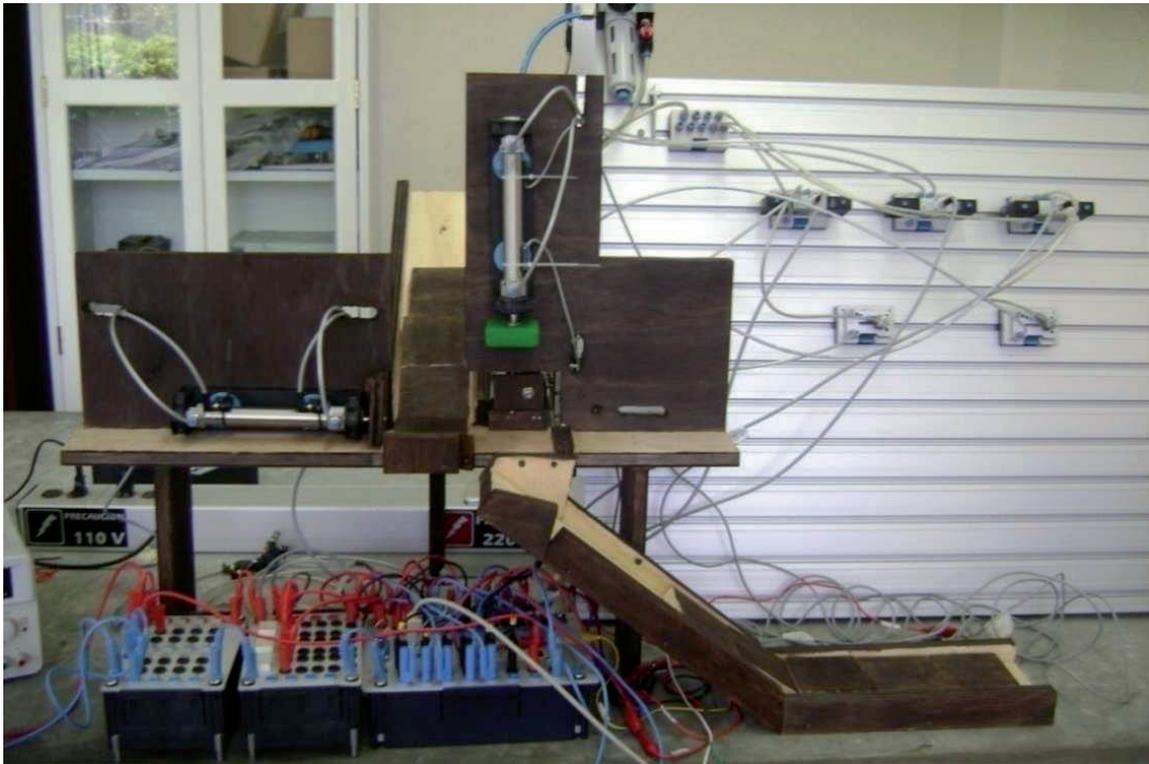


FIGURA 4-35. Prototipo de máquina cortadora y estampadora de masa.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

Dentro de los resultados obtenidos al realizar el diseño y la construcción del prototipo de máquina cortadora y/o selladora de masa para alimentos, además de realizar la simulación de dicha actividad, se obtuvieron los siguientes resultados:

En la propuesta **4.2 (Descripción del proceso propuesto)**, se propone la idea de elaborar un prototipo de máquina que realice las funciones que efectúa un operador en el proceso de corte y estampado de masa para la obtención de diversos productos finales, como galletas, tartas, empanadas etc.; para con ello comprobar de manera práctica la utilidad de la automatización neumática como sustitución en los procesos manuales de fabricación en la industria, en este caso la industria alimenticia.

Por lo anterior, se analizaron los diversos movimientos y se detectó un área de mejora, correspondiente al momento en que el operador realiza el proceso de corte y estampado manual, donde la aplicación de la fuerza es variada por diversos factores naturales como son el cansancio, tedio, la postura, etc. Al usar actuadores neumáticos, dicha fuerza siempre será constante, evitando dicha variación.

Así mismo, se observaron los movimientos que se requerían para emular dicho proceso, pero que además sugiriera propuestas de mejora, es decir, que lograra ser más flexible, dependiendo de las necesidades del material con el que se deseara trabajar, como son tiempo de sellado/corte y tamaño de lote de piezas trabajadas. Así pues, se trabajó en realizar un programa integral que permitiera cambiar estas variables y que el prototipo de máquina obtuviera mayor flexibilidad como se puede observar en la sección **4.4.1 (Explicación paso a paso del programa)**.

En la sección **4.5 (Montaje en el laboratorio)**, se comprobó el funcionamiento del programa, asegurando la correcta selección de los elementos requeridos para realizar las tareas que se pretendían en el análisis del proceso, aspecto fundamental para la continuidad del proyecto. El video del montaje en el laboratorio se puede ver en la siguiente liga de internet: <http://www.youtube.com/watch?v=pLIhh8m9Hj0>.

Una vez verificado su funcionamiento en el laboratorio, se elaboró el diseño como se muestra en el apartado **4.6 (Diseño del prototipo)**, el cual se hizo en principio de forma general y posteriormente de cada una de las partes, ya que para lograr que todas éstas encajaran de la manera necesaria, había que realizar los cortes exactos de cada una, para finalmente proceder a su armado total, como se muestra en la sección **4.7 (Construcción de prototipo)**.

Después de realizado lo anterior, se procedió al paso más importante, comprobar si la simulación del proceso resultaba funcional, para lo cual se montaron todos los elementos previamente seleccionados en el prototipo construido como se muestra a detalle en la sección **4.8 (Simulación final del prototipo)**, durante este proceso se comprobó la importancia que representa realizar la simulación de manera física y no solamente en el tablero, ya que se tuvieron que cambiar los sensores iniciales, puesto que no había forma de montarlos en el prototipo, teniendo que buscarse otra solución, la cual fue colocar sensores magnéticos en los cilindros actuadores, con lo que se solucionó el problema correctamente y la simulación del proceso se efectuó de la manera deseada teniendo éxito total en ella. Ésta simulación final se puede observar en la siguiente liga de internet: <http://www.youtube.com/watch?v=ToHU5CdGWio>.

5.1 Especificaciones técnicas del prototipo

No. DE PIEZAS TERMINADAS <i>(Con un tiempo de 3 segundos de corte/estampado)</i>	15 pzas/min
No. DE PIEZAS TERMINADAS <i>(Sin tiempo de corte/estampado)</i>	60 pzas/min
FUERZA DE CORTE/ESTAMPADO	1 a 20 Kg/cm²
DIMENSIONES DE LAS BASES	8 cm x 8 cm

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

6.1 Conclusiones

Al finalizar este proyecto se comprobó la aplicación práctica de la automatización en la Ingeniería Industrial y las diferentes etapas que se deben seguir para la construcción de un prototipo que utilice elementos automatizados vistos durante la carrera.

Con lo anterior, se logró proponer la idea de un prototipo que realice funciones de corte y/o estampado de masa para alimentos, dicho arreglo de elementos neumáticos puede ser adaptado para la fabricación de diferentes productos que utilicen esta masa como materia prima, en caso de que requiera variación en las dimensiones, el principio siempre será el mismo, lo cual lo hace un proyecto flexible y funcional.

Al finalizar este proyecto se pudo comprobar la aplicación práctica de la automatización en la Ingeniería Industrial y las diferentes etapas que se deben seguir para la construcción de un prototipo que utilice elementos de la neumática vistos durante el diplomado de Automatización Neumática e Hidráulica..

6.2 Trabajo a futuro

Dentro de este proyecto se pudo constatar la importancia que tiene la modernización y el uso de la tecnología en los procesos de fabricación de diversos productos, específicamente en la industria alimenticia, ya que para las empresas de alimentos es imprescindible contar con la calidad tanto en la fabricación del producto como en la presentación del mismo que el mercado actual demanda, por lo tanto es importante tomar en cuenta para trabajo a futuro entro de esta misma área lo siguiente:

- Realizar la construcción de la máquina, eligiendo el material más apropiado para su construcción, como puede ser acero inoxidable, cristal, plástico, etc., de acorde a un estudio previo para determinar el material apropiado.
- Adaptar las dimensiones de la máquina de acuerdo a las necesidades del producto que se pretende realizar por el fabricante.
- Implementar una banda transportadora a la rampa de salida, para que al salir el producto de la máquina, pase automáticamente al horno, con esto lograremos disminuir aún más el tiempo del proceso.

ANEXOS

Método para preparación de las galletas de mantequilla



PASO 1:

Poner en un recipiente la harina, el azúcar y la mantequilla, ésta última cortada en trozos pequeños.



PASO 2:

Batir la mezcla aproximadamente 10 minutos, hasta que se forme una masa ligera.



PASO 3:

Posteriormente añadir los 100 gramos de azúcar y seguir batiendo hasta que se incorpore de manera uniforme a la masa.



PASO 4:

Una vez que se hayan mezclado los ingredientes añadir el huevo.



PASO 5:

Ya que la mezcla se encuentre homogénea, añadir poco a poco la harina y seguir batiendo aproximadamente 15 minutos.



PASO 6:

Al amasar la mezcla con las manos, empezará a adquirir una consistencia firme para que no se pegue en los dedos.



PASO 7:

Posteriormente formar bolitas de masa y estirarlas con un rodillo, colocando un poco de harina en éste y en la superficie donde estamos estirando la masa hasta formar una capa de aproximadamente 1 cm. de grosor.



PASO 8:

Una vez que se tiene la capa de masa se coloca la figura que se desea formar y estampar y se presiona aplicando una fuerza de 4 kg aproximadamente, esto haciéndolo 3 segundos para formar la figura deseada.



PASO 9:

Una vez formadas las figuras se les retira las orillas sobrantes.



PASO 10:

Y la figura esta lista para ser introducida al horno.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1. Relevador.	4
FIGURA 2-2. Microprocesador.	5
FIGURA 2-3. Aplicaciones de la neumática en la industria.	11
FIGURA 2-4. Circuito eléctrico.	12
FIGURA 2-6. Circuito neumático.	12
FIGURA 2-7. Botón pulsador normalmente abierto.	14
FIGURA 2-8. Interruptor de final de carrera normalmente abierto.	14
FIGURA 2-9. Funcionamiento del relevador de simple efecto.	15
FIGURA 2-10. Válvula electroneumática 3/2 de regreso por resorte.	16
FIGURA 2-11. PLC Festo® FEC Standard.	17
FIGURA 2-12. Distribución de entradas y salidas.	17
FIGURA 2-13. Masa comestible.	19
FIGURA 3-1. Electroválvula 5/2 marca Festo®.	21
FIGURA 3-2. Diagrama de válvula de 5 vías y 2 posiciones con pilotaje electroneumático.	22
FIGURA 3-3. Regulador de caudal marca Festo®.	23
FIGURA 3-4. Sensor eléctrico de final de carrera marca Festo®.	24
FIGURA 3-5. Sensor magnético marca Festo®.	26
FIGURA 3-6. Símbolo de cilindro de doble efecto.	26
FIGURA 3-7. Estructura de un cilindro de doble efecto.	26
FIGURA 3-8. PLC marca Festo®.	27
FIGURA 4-1. Corte y estampado manual.	29
FIGURA 4-2. Figura cortada y sellada.	29
FIGURA 4-3. Base de madera.	31
FIGURA 4-4. Croquis de situación (Vista planta).	32
FIGURA 4-5. Croquis de situación (vista lateral).	32
FIGURA 4-6. Croquis de situación 3D (vista 1).	33
FIGURA 4-7. Croquis de situación 3D (vista 2).	33
FIGURA 4-8. Croquis de situación 3D (vista 3).	34
FIGURA 4-9. Croquis de situación 3D (vista 4).	34
FIGURA 4-10. Montaje en el tablero.	42
FIGURA 4-11. Diseño de máquina (vista frontal).	44
FIGURA 4-12. Diseño de máquina (vista lateral 3D).	45
FIGURA 4-13. Base de cilindro actuador A.	46
FIGURA 4-14. Base de cilindro actuador B.	47
FIGURA 4-15. Base de cilindro actuador C.	47
FIGURA 4-16. Base general.	47

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 4-17. Rampa alimentadora y barras de retención.</i>	48
<i>FIGURA 4-18. Rampa de salida del estampador y barras de retención.</i>	48
<i>FIGURA 4-19. Base de rampa de salida y barras de retención.</i>	49
<i>FIGURA 4-20 Bases de cada galleta.</i>	49
<i>FIGURA 4-21. Corte bases de cilindros actuador A y B.</i>	50
<i>FIGURA 4-22. Corte base cilindro actuador C.</i>	50
<i>FIGURA 4-23. Realización de aberturas para los actuadores.</i>	50
<i>FIGURA 4-24. Proceso de lijado de rampas.</i>	51
<i>FIGURA 4-25. Armado de rampas alimentadora y de salida.</i>	51
<i>FIGURA 4-26. Corte al final de las barras de retención.</i>	52
<i>FIGURA 4-27. Armado de rampa alimentadora con bases de actuadores.</i>	52
<i>FIGURA 4-28. Máquina estampadora terminada</i>	52
<i>FIGURA 4-29. Electroválvulas y reductores de caudal</i>	53
<i>FIGURA 4-30. Cilindro A (entrada de producto).</i>	54
<i>FIGURA 4-31. Cilindro B (sellador).</i>	54
<i>FIGURA 4-32. Cilindro C (salida de producto).</i>	55
<i>FIGURA 4-33. Sensor magnético.</i>	55
<i>FIGURA 4-34. PLC y módulos de interruptores e indicadores luminosos.</i>	56
<i>FIGURA 4-35. Prototipo de máquina cortadora y estampadora de masa.</i>	57

TABLAS

<i>TABLA 2.1. Unidades empleadas para medir presión.</i>	9
<i>TABLA 2.2. Equivalencia entre unidades empleadas para medir presión.</i>	9
<i>TABLA 2.3. Unidades empleadas para medir caudal (Q).</i>	10

BIBLIOGRAFÍA

- BERRÍO ZABALA, Luis Giovanny *Neumática Básica*, Fondo Editorial ITM, Medellín Colombia, 1ª edición 2007
- ROCA CUSIDO, Alfredo. *Control de procesos*, Grupo Editor. Alfaomega España, Segunda edición.(2002)
- KILIAN, Christopher T. *Control technology: components and systems Modern*, Ed. Thomson Delmar learning. 2ª Ed. Estados Unidos (2000).
- http://www.festo.com/cms/es-mx_mx/index.htm
- <http://www.scribd.com/Electroneumatica>
- <http://www.abcinnova.com/automatizacion.html>
- <http://www.festo-didactic.com/es-es/>
- <http://www.estudiobarone.com.ar/fec-compact.htm>
- http://www.juntadeandalucia.es/averroes/ies_sierra_magina/d_tecnologia