

01127  
29



# Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA EL EMBALAJE DE FOCOS EN DOS PRESENTACIONES

T E S I S

Que para obtener el título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

P R E S E N T A N :

**LUIS ENRIQUE VILLEGAS PARRA**  
**RODRIGO ALONSO VERA OROZCO**

DIRECTOR DE TESIS: ING. GABRIEL HURTADO CHONG

México, D.F.

2003

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo académico.  
NOMBRE: Rodrigo Vera Orozco  
FECHA: 26 - sept - 2003  
FIRMA: (Rodrigo Vera)

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo académico.  
NOMBRE: Luis Enrique Parra Villegas  
FECHA: 26 - Sept - 2003  
FIRMA: (Luis Parra)



01127

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# **TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



## Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>1. Antecedentes: embalaje</b>	2
1.1 Objetivos	2
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Hipótesis	2
1.4 Definición conceptual de envases y embalaje	3
1.4.1 Misiones del embalaje: Generalidades	3
1.5 El proceso de embalaje	6
1.6 Conclusiones	7
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>2. Introducción a conceptos de automatización y mecatrónica</b>	9
2.1 Diseño y mecatrónica	11
2.2 Sensores y transductores	12
2.2.1 Desplazamiento, posición y proximidad	13
2.2.2 Selección de sensores	15
2.3 Sistemas de actuación eléctrica	15
2.4 Neumática	17
2.4.1 Sistemas de actuación neumática	18
2.5 Tipos de control de un proceso	19
2.5.1 Control en lazo abierto	19
2.5.2 Control en lazo cerrado	19
2.6 Tipos de procesos industriales	20
2.7 Controladores Lógicos Programables (PLC's)	20
2.7.1 Diferencia entre los PLC's y las PC's	22
2.7.2 Selección de un PLC's	22
2.7.3 Aplicaciones generales de los PLC's	22
2.8 Circuitos secuenciales (Flip-flops)	23
2.8.1 Lógica secuencial	24
2.8.2 Flip-flop	24
2.9 Acondicionamiento de señales	25
2.9.1 Relevadores	25
2.9.2 Interconectándose con un microprocesador	25



### CAPÍTULO 3

<b>3. Diseño mecánico del prototipo.....</b>	<b>26</b>
3.1 Reconocimiento de una necesidad.....	27
3.2 Investigación sobre el producto.....	28
3.3 Especificación de características.....	29
3.4 Diseño preliminar o anteproyecto.....	31
3.5 Diseño detallado.....	33
3.5.1 Interface.....	33
3.5.2 Manipulador.....	36
3.5.3 Posicionamiento.....	44
3.5.4 Alimentador.....	51
3.5.5 Abrir caja.....	53
3.5.6 Cerrar caja.....	57
3.5.7 Expulsión.....	60
3.5.8 Consumo de aire.....	62
3.6 Otros aspectos del diseño.....	63
3.6.1 El bastidor.....	65
3.6.2 El panel de mandos.....	66
3.6.3 La torre de alarmas.....	68
3.6.4 La seguridad funcional.....	68
3.6.5 Mantenimiento.....	69
3.6.6 Seguridad: prevención intrínseca y protección.....	70
3.6.7 Estética.....	71

### CAPÍTULO 4

<b>4. Automatización y control del prototipo.....</b>	<b>72</b>
4.1 Dispositivos de entrada.....	73
4.2 Dispositivos de salida.....	76
4.2.1 Supresores de sobretensión.....	76
4.2.2 Acondicionamiento de las salidas.....	78
4.3 Control y programación del prototipo.....	84
4.3.1 Selección del PLC.....	85
4.3.2 Programación del prototipo.....	88
Programa del PLC 1.....	89
Programa del PLC 2.....	103
4.4 Instalación del equipo.....	112
4.4.1 Equipo neumático.....	112
4.4.2 Equipo eléctrico.....	112
Diagramas neumático y eléctrico.....	113



**CAPÍTULO 5**

<b>Conclusiones.....</b>	<b>124</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>127</b>
<b>Anexo</b>	
<b>Fotografías de la máquina.....</b>	<b>128</b>



## **Introducción**

En el presente trabajo se pretende explicar la importancia del diseño mecatrónico para la realización de proyectos, en este caso particular, de una máquina automática. Además, también se dejan ver todos los aspectos que implica su construcción. Esperamos que los lectores puedan involucrarse de forma tal que comprendan todo el desarrollo, incluyendo las dificultades y problemáticas. Desglosamos todo en cinco capítulos, con la intención de llevar de la mano la sucesión de acontecimientos y conceptos para su fácil comprensión.

En el capítulo 1, referente a los antecedentes del embalaje, se quiere dar una noción muy somera de lo que quiere decir embalaje, sus funciones y un poco de su historia, para comprender así su evolución. Cabe mencionar que la necesidad de embalar el producto dio lugar a la idea de nuestro proyecto. Ahí radica la importancia de este capítulo.

En el capítulo 2 se plasman una serie de conceptos y definiciones necesarias para entender los elementos constitutivos del prototipo. Así mismo, se justifica en la mayoría de los casos el uso de ciertos equipos y elementos. Con los elementos mecánicos estamos normalmente más familiarizados que con los elementos electrónicos. Por lo tanto, procuramos centrar la atención del lector en el aspecto de la electrónica, pues es el punto de partida de la automatización industrial. Sin embargo, como se hace mención a lo largo del trabajo, no se debe perder de vista que para el diseño y desarrollo del prototipo se debe tener un enfoque completamente mecatrónico, esto es, comprender esta disciplina como una parte integral.

El tercer capítulo tiene la intención de reflejar todo el desarrollo en la fase del diseño mecánico. Durante el diseño se presentaron surgimiento de ideas, de necesidades, de problemas, etc. Es en este sentido que radica la gran importancia del capítulo, pues de cierta forma se puede ver la complejidad y dificultad de todo el proceso. A pesar de que hacemos énfasis en la mecatrónica de manera integral, se decidió desglosar el diseño en dos capítulos, con el fin de facilitar su comprensión.

En el cuarto capítulo se explica la automatización y control del prototipo de manera similar al capítulo tercero. Aquí se cuenta con una gran cantidad de diagramas eléctricos, neumáticos y de programación, pues son la base de la automatización. Al igual que en el diseño mecánico, tratamos de proyectar todo lo que implica un diseño de esta magnitud. Ningún aspecto debe hacerse de lado al diseñar, pues todo factor tiene su importancia.

Finalmente se llega al capítulo de conclusiones, donde principalmente se comentan posibles mejoras que pueden realizarse, pero que no se hicieron porque escapaban a los alcances del proyecto. Sin embargo las propuestas son algo muy constructivo. También se hacen comentarios referentes a las carencias, limitaciones y dificultades. Evidentemente, no pueden dejar de mencionarse los resultados que fueron satisfactorios.



## CAPÍTULO 1

### Antecedentes: embalaje

#### 1.1 Objetivos

- Automatizar el proceso de embalaje de focos del tipo E-14, con el fin de reducir los costos y tiempos de producción de los mismos.
- Diseñar el prototipo de una máquina automática que sea capaz de almacenar focos en corrugados con capacidades de 20 y 30 focos, basándose en conceptos relacionados con al mecatrónica.
- Construir dicho prototipo.

#### 1.2 Planteamiento del Problema

Para eliminar las pérdidas por daños en el producto durante el período de almacenaje y transporte, se propone empaquetar los focos inmediatamente después de ser manufacturados, en vez de almacenarlos y trasportarlos a granel dentro de la planta. Se necesita realizar el embalaje de focos en dos presentaciones de caja distintas, con capacidades de 20 y 30 focos. Dicho proceso debe realizarse de forma rápida, económica y precisa, por lo que se piensa en la automatización mediante el uso de un *controlador lógico programable* (PLC). Se debe realizar el diseño de la máquina, de forma tal que sea funcional y versátil, así como también el programa que hará funcionar al PLC para que controle las salidas (motores y cilindros principalmente) dependiendo de las señales de entrada que reciba. Además, se diseñará la caja como punto de partida para facilitar el diseño de la máquina misma. Finalmente, se debe construir la máquina. El planteamiento del problema se detalla más a fondo en el capítulo 3.

#### 1.3 Hipótesis

- Dependiendo de la presentación deseada por el usuario, el prototipo empaquetará focos en cajas de 20 ó 30 focos automáticamente.
- Los daños por almacenamiento y transporte a granel de los focos reducirán apreciablemente al empacarlos inmediatamente después de ser manufacturados.



## 1.4 Definición conceptual de envases y embalajes:

El embalaje es una “cobertura” que tiene como finalidad dar al producto envasado una mayor protección y resistencia al manipuleo en el almacenaje y transporte. Con esta mayor protección se logra reducir los efectos posibles de los riesgos, conservando el valor objeto del producto contenido y su envase.

### 1.4.1 Misiones del embalaje: Generalidades

El embalaje de ciertas mercancías es costumbre muy antigua, cuyo propósito principal se reconoce en forma clara y sencilla. La primera misión del embalaje es la de proteger la mercancía que contiene frente a influencias externas. Tales influencias externas pueden ser de tipo mecánico, como choque, caídas, doblado, presión, etc., o bien también de naturaleza físico-química, como las producidas por fuerte frío o calor, excesiva radiación solar o humedad.

La resolución de la tarea primaria del embalaje, es decir, la protección del material embalado, proporciona también simultáneamente, en la mayor parte de los casos, una muy notable mejora en el manejo de los artículos. Así, el embalaje facilita el transporte, asegura determinadas unidades de tamaño, permite caracterizar la mercancía por tipos y simplifica así el almacenaje. Las diversas ramas económicas del comercio y de la industria han aprovechado desde hace ya mucho tiempo, en forma más o menos consciente, las ventajas del embalado de sus productos. La importancia que se concede actualmente a un embalaje y a su configuración sólo se descubrió con la introducción de los modernos sistemas de distribución de artículos de consumo. Como consumidor, el hombre se encuentra en constante mutación de sus costumbres. No se trata tan sólo del hecho de que partiendo de una amplísima oferta pueda cumplir todas sus ansias de variación, sino que también posee la planificación, forma y realización de su actividad de compra, que tendrá que seguir adaptando a las nuevas realidades. La visita al “comerciante de la esquina” que tenía que alabarle y recomendarle verbalmente su mercancía, se ha convertido en la marcha hacia el supermercado, donde se ve confrontado a una “súper-oferta”. Allí tienen que efectuar su elección sin ningún tipo de estímulo acústico, sometido solamente a influencias visuales. Ello resulta tanto más difícil cuanto mayor y más variada sea la oferta. Hay que tener en cuenta también que no solamente ejercen influencias sobre él los artículos del pequeño sector de su idea de compra, sino que siente también atracción por gran cantidad de otras ofertas, en parte completamente imprevistas. Todo ello dificulta su decisión.

El desarrollo del sistema de “autoventa” de mercancías comerciales presupuso que todas las mercancías estuviesen previamente embaladas. Con ello, el proceso de embalaje pasó del terreno de trabajo del vendedor al del productor, anexionándose al proceso de fabricación como etapa final. Además de esto, el embalaje amplió su primera función fundamental de proteger la mercancía con una serie de nuevas funciones económicas.



Aparte de su función protectora, se hizo cargo de tareas de distribución, información, y finalmente de racionalización. El embalaje puede representar también simplificaciones en el proceso de transporte y distribución, mediante la adaptación de sus dimensiones a los formatos habituales de los estantes y frigoríficos comerciales. También proporciona ventajas de distribución, la posibilidad de reunir los artículos embalados en plataformas estibadoras. Las exigencias puestas en los embalajes modernos llegan a reclamar que el embalaje originado en la producción sirva tanto para el transporte como para la distribución y finalmente sea apropiado para el consumo.

La misión publicitaria, es decir, la atracción del cliente a la compra, puede apoyarse en forma efectiva mediante informaciones, como por ejemplo sobre funciones secundarias del producto, o su rentabilización, entre muchas otras.

Entre las tareas de racionalización de un embalaje se cuentan el facilitar los procesos industriales de llenado y cierre, así como la fácil apertura de un envase. Adquiere particular importancia la cuestión de envases sin devolución. Los envases que tienen que efectuar el camino de retorno desde el consumidor hasta el productor, a través del comerciante, no sólo recargan las vías de transporte y exigen un valioso espacio de almacenaje estando vacíos, sino que en ningún caso son racionales, puesto que han de ser administrados, almacenados, transportados, limpiados, controlados y clasificados. Un cálculo minucioso demuestra casi siempre que los envases con devolución son más costosos que los de un solo uso. La búsqueda del embalaje óptimo, que cumpla el máximo de las exigencias impuestas, conduce al compromiso.

La multiplicidad de estas tareas, cuya realización no era ya posible con medios sencillos, ha tenido como consecuencia el desarrollo de una amplia industria de embalajes. Conviene aclarar que la palabra embalaje se utiliza aquí como concepto general, abarcando envase, paquete, envoltorio, caja, frasco, bolsa, etc., porque en muchos casos existen puntos poco claros sobre el hecho de si la mercancía ha de considerarse en forma separada del embalaje. Según sentencia, las botellas y recipientes a los que les falta suficiente resistencia frente a influencias externas no constituyen un embalaje.

Por lo tanto, los aspectos del embalaje que se deben tomar en cuenta para el diseño del mismo son los siguientes:

- contiene
- protege
- facilita el uso del producto
- permite el manipuleo
- identifica el producto
- vende el producto

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### *Contener y proteger*

La acción de contener y proteger está condicionada a la naturaleza del producto contenido (sólido, líquido, gaseoso, en gránulos, viscoso, pegajoso, etc.), al tipo y calidad del material con que esta realizado en envase (vidrio, hojalata, aluminio, madera, plásticos huecos, laminados flexibles, etc.) y a los riesgos que ofrece el medio ambiente.

Debe existir un comprobado estado de inercia en la vida en común entre el envase y su contenido. En ningún caso el envase debe contaminar el contenido de éste, por sus características, debe atacar el envase, acortando su vida útil comercial. Este envase debe resistir la acción del medio ambiente y proteger el producto contenido de las agresiones que pudiera recibir del oxígeno del aire, de otros gases circundantes, de la humedad ambiente, de la acción de la luz (rayos UV) y de la posibilidad de la acción de bacterias, hongos, levaduras, insectos y roedores.

Todos estos aspectos, sumados a los riesgos propios del manipuleo en almacenaje, transporte y distribución tendrán una gran incidencia sobre la decisión de fijar una vida útil, incluyendo una confiable "vida de estante".

Se diseña un envase, ya dijimos, para una determinada vida útil, pero no un súper-envase que sería costoso e inútil. Debe, sí, superar las reales necesidades del producto en un medio ambiente normal en el manipuleo, el almacenaje, el transporte, al comercialización y el consumo.

### *Facilita el uso del producto y permite el manipuleo*

Este aspecto es muy importante para el consumidor final ya que tiene que ver con la practicidad del envase, es decir, con el valor de uso.

El envase por su volumen, su sistema de apertura y cierre, tipos de boquilla de salida, geometría y estructura, sistemas de seguridad, medios de dosificación, etc., debe permitir al consumidor hacer uso del producto contenido, con facilidad, practicidad y rendimiento. Además, su perfil geométrico y su tamaño debe facilitar la manipulación, en especial, por parte de niños y ancianos.

En resumen, lograr siempre un mejor manipuleo de un envase y buen consumo del producto contenido son componentes y servicios fundamentales que se suman a la calidad del producto demandado para satisfacción del consumidor final.

### *Identifica el producto*

La geometría lograda a través del diseño industrial junto con un acertado diseño gráfico constituyen los medios más fuertes y eficaces para captar mediante el envase resultante la atención del consumidor final.



Combinar inteligentemente la asociación de ideas del consumidor con un juego acertado de producto-envase permitirá mediante su rápida identificación lograr la decisión de compra satisfaciendo necesidades y fantasías.

Dentro de los aspectos de identificación, el rotulado legal forma parte de la comunicación necesaria, informando sobre el peso neto, el origen y la composición del producto, incluyendo también le número de registro o certificación del mismo, así como indicaciones preventivas cuando se trata de productos peligrosos.

### *Vende el producto*

Cuando un producto envasado está expuesto a la venta, el éxito mayor es lograr sobre el consumidor la acción de la compra por impulsos, no programada. No es un hecho que se logra al azar, sino la resultante de la conjugación óptima de los valores logrados en el diseño del envase obteniendo un alto valor de exhibición, transformando el envase en una extraordinaria herramienta de venta.

## **1.5 El proceso de embalaje**

El llenado o empaquetado es un punto de interés primordial para el fabricante , porque es la etapa final del proceso de industrialización, que deja a los productos en las condiciones que presentarán ante los ojos del comprador.

Para el desarrollo de los envases siempre se hace necesario el contacto con los distribuidores de materias primas, fabricantes, y empresas envasadoras, con el fin de ponerse de acuerdo sobre el método idóneo de envasado para cada producto.

En los siguientes párrafos se describen a grandes rasgos algunas de los procesos y maquinas que se utilizan para el embalaje de productos.

*Envasado manual:* En producciones o fabricas pequeñas frecuentemente se usa el envasado manual, o semiautomático, donde la máquina arma o alimenta las cajas, las mueve por las estaciones de llenado y espera mientras el operador inserta el producto.

*Llenado automático:* Cada caja es llenada por la máquina en una serie de acciones intermitentes. Una cabeza de llenado empuja el producto dentro de las cajas, en tanto algún tipo de dispositivo especial, según cada caso las mantiene abiertas.

*Llenadoras elípticas:* Se trata de máquinas que generalmente se usan sobre productos que circulan en una banda móvil. Las características de estas máquinas es que en vez de moverse en línea recta, se mueven en ángulo hacia delante.

*Llenado de reserva:* Se recurre a este cuando es necesario sostener el artículo para prevenir volcaduras mientras se envasa. Es muy similar al llenado convencional excepto que el llenador



se monta en la parte trasera de la máquina. La caja pasa por detrás y entra en contacto con el artículo, que es empujado dentro de la caja.

*Llenado de gravedad:* En este tipo de llenado se pesa o mide la cantidad deseada de producto con una copa o matraz y posteriormente se deposita en el contenedor cuando este pasa por debajo del embudo.

*Llenado por barrena:* Para evitar que ciertos productos formen grumos, el material se proporciona a través de las evoluciones de una barrena especial que lleva la máquina.

*Llenadores por conteo:* Consiste precisamente en el conteo de las unidades que entran en cada caja. Estas unidades son colectadas a través de los huecos de un disco especial para tal efecto, operando el conteo final mediante sensores. Alcanzando el número deseado la caja se llena por gravedad.

## 1.6 Conclusiones

Cabe mencionar que nuestra prioridad en el diseño de la caja que contiene a los focos fue la de facilitar el resto del diseño en el prototipo. Así, pudimos manipular las dimensiones de forma más cómoda. Sin embargo, se tomaron en cuenta también casi todas las demás condiciones que debe cumplir un buen embalaje.

El material de la caja, y la caja en sí, cumplen con las condiciones de contener y proteger. Se utilizan rejillas interiores en la caja, para evitar el movimiento de los focos y el contacto entre ellos, ya que los bulbos de los focos son de vidrio; un material frágil. Además, dichas rejillas facilitan la colocación de los focos al prototipo.

Además se facilita el uso del producto, y permite su manipulación. El embalaje acostumbrado en la industria de los focos es a granel; es decir, de forma individual. Sin embargo, cuando se trata de cantidades mayores de producto, se complica más el embalaje del mismo. Las cajas permiten una manipulación sencilla y segura, ya que no existe el riesgo de dañar el producto, y se transportan grandes cantidades en poco tiempo.

Así mismo, el almacenaje mejora en forma significativa, ya que las cajas pueden soportar una determinada carga de estiba. Es muy simple apilar las cajas en una bodega, con la certeza de que además el empaque en sí es capaz de proteger contra las influencias externas del lugar. Este punto es muy importante en nuestro caso, pues sabemos que la demanda de focos total de un mes se puede producir en tan sólo unas semanas. Esto implica que el producto será almacenado por un periodo suficientemente largo como para causar problemas en la calidad del mismo.

Finalmente, también por medio del embalaje conseguimos identificar fácilmente el producto, ya que se cuenta con dos presentaciones distintas. Las cajas de 20 focos son fácilmente diferenciadas de las cajas de 30 focos, ya que cuentan con menor longitud. Lo ideal sería contar en la misma línea de empaque con un sistema capaz de marcar las cajas. Así



podría mejorar en gran medida la identificación del producto, ya que ~~se marcarían~~ los datos técnicos del producto.

La venta del producto pierde interés para nosotros, ya que evidentemente no es prioridad al diseñar la máquina. Este ámbito corresponde más bien a la mercadotecnia. Sin embargo, es importante señalar que con el fin de alcanzar un mayor mercado y competitividad, se acostumbra marcar las cajas en la misma línea de empaque. Evidentemente podría implementarse dicha mejora al prototipo, pero consideramos que escapa los objetivos de nuestro embalaje.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## CAPÍTULO 2

### Introducción a conceptos de automatización y mecatrónica

No sólo el diseño y la realización de un prototipo cualquiera resultan importantes. De fondo hay toda una complejidad en cuanto a la teoría se refiere, sin la cual nada habría sido posible. Las bases juegan un papel muy importante, ya que de ellas se parte para el surgimiento de ideas, simplificación de problemas, selección de equipo, etcétera.

Por lo mismo, es necesario dar una breve explicación de algunos conceptos que se consideran relevantes, ya que definieron el desarrollo de nuestro trabajo. Así, para comprender el por qué de los elementos diseñados, empleados y construidos en el prototipo, resulta conveniente empezar por definir la mecatrónica y la automatización.

#### Mecatrónica

Una concepción actual de la Mecatrónica comprende a la misma como integrada por varias disciplinas de las cuales las más importantes y que a su vez incluyen a otras son: Electrónica, Mecánica e Informática. En ellas quedan comprendidas áreas del conocimiento como: Teoría de Control, Robótica, Inteligencia Artificial, Mecánica Computacional, Modelo y Simulación, Optoelectrónica, etc.

Actualmente las máquinas herramientas de tecnologías avanzadas, así como las diversas líneas automatizadas de diferentes procesos productivos, son el fruto de la interacción de estas disciplinas. Por lo mismo, una de las aplicaciones más importantes de la mecatrónica consiste en la automatización industrial. Una forma muy recurrida por ser práctica y eficiente es el uso de Controladores Lógicos Programables (mejor conocidos por sus siglas en inglés PLC's, ).

#### Automatización

La automatización es la sustitución de la acción humana por mecanismos, independientes o no entre sí, movidos por una fuente de energía exterior, capaces de realizar ciclos completos de operaciones que se pueden repetir indefinidamente.

La historia de la automatización es larga y está matizada con grandes avances, partiendo de las pioneras máquinas de vapor que dieron origen a la Revolución Industrial. Sus primeros aportes fueron introducidos por la mecánica, la neumática y la hidráulica, tecnologías que, con grandes perfeccionamientos, todavía se siguen utilizando.

Quizá el cambio más revolucionario en los últimos años es la integración de nuevas máquinas, herramientas y robots, llamados híbridos porque combinan partes eléctricas, mecánicas, neumáticas y electrónicas, así como servoposicionadores.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



La historia de la automatización industrial está caracterizada por periodos de continuas innovaciones tecnológicas. Esto se debe a que las técnicas de automatización están muy ligadas a los sucesos económicos mundiales.

Este desarrollo en la tecnología, que incluye las poderosas computadoras electrónicas, los actuadores de control retroalimentados, transmisión de potencia a través de engranes, y la tecnología en sensores, ha contribuido a flexibilizar los mecanismos autómatas para desempeñar tareas dentro de la industria.

Algunos ejemplos de la fusión de los sistemas de control electrónico y la ingeniería mecánica pueden ser una cámara automática, la suspensión de un camión y la línea de producción automática. En este tipo de sistemas por lo general se emplean microprocesadores para el control y sensores eléctricos que obtienen información de las entradas y salidas mecánicas, que a través de los actuadores llegan a los sistemas mecánicos. El término mecatrónica es usado para describir la integración de sistemas de control basados en microprocesadores, sistemas eléctricos y sistemas mecánicos. Un sistema Mecatrónico no es simplemente la unión de sistemas eléctricos y mecánicos, y es más que un simple sistema de control: es una integración completa de todo lo anterior.

Actualmente, en el diseño de autos robots, máquinas-herramientas, y muchos otros dispositivos, se adopta cada vez con mayor frecuencia este enfoque integrado e interdisciplinario para el diseño en ingeniería. A fin de poder diseñar sistemas que sean de menor costo, más confiables y flexibles es necesario lograr desde las primeras etapas del proceso de diseño la fusión a través de fronteras tradicionales de las ingenierías mecánica, eléctrica, electrónica y de control. La mecatrónica adopta un enfoque concurrente o participativo entre estas disciplinas en lugar del enfoque secuencial tradicional del desarrollo, por ejemplo, del sistema mecánico, luego el diseño de la parte eléctrica y después la parte del microprocesador.

En la mecatrónica se conjuntan áreas tecnológicas relacionadas con sensores y sistemas de medición, sistemas de mando y de accionamiento, análisis del comportamiento de los sistemas, sistemas de control y sistemas de microprocesadores.

En conclusión: En la mecatrónica se conjuntan diversas tecnologías; ingenierías mecánica, electrónica, eléctrica, de cómputo y de control. Podría decirse que es un conjunto de técnicas de control digital basadas en computadoras, a través de interfases electrónicas y eléctricas, aplicadas a problemas de ingeniería mecánica. La mecatrónica ofrece la oportunidad de ver los problemas desde una perspectiva diferente, donde los ingenieros mecánicos no se limitan a considerar un problema sólo en términos de principios mecánicos, sino también en función de una gama de tecnologías. La electrónica y demás tecnologías no deben considerarse como partes agregadas al equipo y elementos mecánicos. Desde la fase del diseño es necesario adoptar un enfoque Mecatrónico. Es necesario repensar por completo las necesidades en términos de lo que se espera de cada elemento.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Son muchas las aplicaciones de la mecatrónica en los productos de fabricación en masa que se utilizan en el hogar. Los controladores basados en microprocesadores están presentes en las lavadoras, lavavajillas, hornos de microondas, cámaras, cámaras de video, relojes, sistemas de videograbación y de sonido de alta fidelidad, controles para calefacción central, máquinas para coser, etcétera. Se les encuentran también en los automóviles, en las suspensiones activas, los frenos antiderrapantes, el control del motor, la carátula del odómetro, la transmisión, etcétera.

Una aplicación de mayor escala de la mecatrónica es el sistema de ingeniería de manufactura flexible (SMF), que incluye máquinas controladas por computadora, robots, sistema de manejo de materiales automático y control de supervisión general.

### 2.1 Diseño y mecatrónica

El diseño está constituido por varias etapas. Sin embargo, no es tan simple como seguir una serie de pasos para llegar a un objetivo determinado. Siempre habrá factores de diversas índoles a tomar en cuenta. Además, la creatividad y el ingenio marcarán siempre una diferencia en los distintos diseños que puedan existir. Así, cabe mencionar que en nuestro caso, el diseño del prototipo fue llevado a cabo teniendo en mente siempre un enfoque mecatrónico. No es lo mismo construir una máquina, y después con el tiempo adaptarla para que su funcionamiento sea automático, a construir la misma máquina y desde un principio considerar siempre que la parte mecánica debe embonar con la parte electrónica y con la parte del software. Evidentemente será siempre mejor cuando se considera a la mecatrónica como un todo. En todas las etapas del diseño del prototipo se tuvo esto en cuenta.

De esta manera, se puede considerar que las etapas necesarias para realizar un diseño son las siguientes:

1. La necesidad.- El proceso de diseño se inicia con una necesidad, quizás formulada por un cliente, o bien detectada mediante una investigación de mercado.
2. Análisis del problema.- La primera etapa en la elaboración de un diseño es definir la verdadera naturaleza del problema, es decir, analizarlo. Se trata de una etapa muy importante, ya que no definir el problema de manera precisa podría conducir a una pérdida de tiempo en diseños que no satisfacen la necesidad.
3. Elaboración de una especificación.- Después del análisis, se procede a especificar lo que se requiere. En esta etapa hay que dejar claro en qué consiste el problema, las restricciones que deberá satisfacer la solución y los criterios que se aplicarán para evaluar la calidad del diseño. Al formular el problema, deben especificarse las funciones que se desean obtener del diseño, así como sus características deseables. Por ejemplo, masa, dimensiones, tipos y variedad de movimientos requeridos, exactitud, requisitos de entrada y de salida de elementos e interfases, especificaciones de las fuentes de alimentación, entorno de operación, normas correspondientes, normas de ejecución, etcétera.
4. Propuesta de posibles soluciones.- Con frecuencia esta etapa se denomina etapa conceptual. Se elaboran bosquejos de soluciones, con el suficiente detalle para indicar cómo obtener cada una de las funciones requeridas, por ejemplo, dimensiones, formas,



- materiales y costos aproximados. También determina qué se ha inventado con anterioridad para problemas similares; no hay por qué volver a inventar la rueda.
5. Selección de una solución idónea.- Se evalúan las soluciones propuestas y se elige la más adecuada.
  6. Elaboración de un diseño detallado.- El diseño más adecuado se realiza con todos sus detalles, lo cual podría requerir la creación de prototipos o modelos para simular los detalles óptimos del diseño.
  7. Elaboración de dibujos de trabajo.- El diseño elegido se traduce en dibujos de trabajo, diagramas de circuito, etcétera, en los cuales se basará la realización del producto.

Por la misma razón que el diseño no es simple como una receta de cocina, las anteriores etapas del diseño no necesariamente se van dando de acuerdo a la secuencia mencionada. En ocasiones será necesario regresar a una etapa anterior y reconsiderarla. Por ejemplo, durante la etapa de generación de posibles soluciones, puede ser necesario reconsiderar el análisis del problema.

El diseño de ingeniería es un proceso complejo que involucra diversas disciplinas y habilidades. La parte medular del enfoque mecatrónico radica en la participación conjunta de disciplinas como la electrónica, la tecnología de cómputo y la ingeniería de control. La complejidad sin embargo, se transfiere al software.

Al inicio del capítulo 3 se retomarán estos conceptos de diseño enfocándolos a nuestro objetivo.

## 2.2 Sensores y transductores

El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Por ejemplo, en el caso de un elemento para medir temperatura mediante resistencia eléctrica, la cantidad que se mide es la temperatura y el sensor transforma una entrada de temperatura en un cambio en la resistencia.

Con frecuencia se utiliza el término transductor en vez de sensor. Los transductores se definen como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Es decir, los sensores son transductores. Sin embargo, en un sistema de medición se pueden utilizar transductores, además de sensores, en otras partes del sistema para convertir señales de una forma dada en otra distinta.

Nuestro prototipo está constituido principalmente por interruptores, que se encargan de mandar una señal al ser activados. Contamos también con sensores fotoeléctricos, y uno inductivo. Aquí es conveniente hacer mención de la instrumentación, la cual está íntimamente ligada con los sensores.

Básicamente instrumentar consiste en llevar las señales de proceso del campo (en este caso, la línea de empaque) a un dispositivo o instrumento de control (que en nuestro caso se refiere a los PLC's y al drive). El orden lógico de las operaciones sería el siguiente: control implica



medición, y ésta se puede registrar tanto por medios tradicionales (manómetros y termómetros) como con sensores o instrumentos que ni siquiera requieren contacto directo con el proceso, porque toman los datos por radiaciones, rebotes de rayos láser, proximidad, peso, por citar algunos. El prototipo emplea ambos tipos de sensores.

La instrumentación implica, por tanto, un paso dentro de la automatización. En los procesos industriales típicos se llevan a cabo numerosas actividades e intervenciones realizadas por humanos. Dichas actividades pueden ser tediosas, o peor aún, riesgosas. En este sentido, la idea de instrumentar los procesos es, primeramente, dignificar el trabajo del hombre, evitando que éste realice actividades peligrosas o de gran esfuerzo; y segundo, simplificar actividades con miras a mejorar la producción en cuanto a cantidad y calidad. Es claro que el empaquetamiento de los focos industriales del prototipo puede llevarse a cabo de manera manual. Sin embargo, hay que considerar el material humano requerido para dicha actividad, y el resultado del proceso al final. Por ejemplo, el manejo de los focos es complicado, debido a sus dimensiones y a la fragilidad del material. He ahí el por qué de la instrumentación y la automatización en general.

### 2.2.1 Desplazamiento, posición y proximidad

Los transductores se pueden agrupar de acuerdo con lo que miden. Las mediciones que con mayor frecuencia se encuentran en ingeniería mecánica son: desplazamiento, proximidad, velocidad, fuerza, presión, flujo de fluidos, nivel de líquidos, temperatura e intensidad luminosa.

Los sensores de desplazamiento miden la magnitud que se desplaza un objeto; los sensores de posición determinan la posición de un objeto en relación con un punto de referencia. Los sensores de proximidad son una modalidad de sensor de posición y determinan en qué momento un objeto se mueve dentro de una distancia crítica del sensor. Los anteriores dispositivos cuyas salidas son, en esencia, del tipo todo o nada (encendido o apagado), tienen características que deben ser tomadas en cuenta:

1. La magnitud del desplazamiento: ¿se habla de fracciones de milímetros, de varios milímetros o quizás de metros? Es el caso de un sensor de proximidad, ¿Qué tanto debe aproximarse un objeto para detectarlo?
2. Si el desplazamiento es lineal o angular; los sensores de desplazamiento lineal sirven para monitorear el grosor u otras dimensiones de materiales en forma de hoja, la separación de rodillos, la posición o la existencia de una parte, dimensiones de ésta, etcétera; los métodos de desplazamiento angular sirven para monitorear el desplazamiento angular de los ejes.
3. La resolución que se necesita
4. La exactitud que se necesita
5. El material del que está hecho el objeto que se mide; algunos sensores sólo funcionan con materiales ferromagnéticos, otros con metales y algunos otros sólo con aislantes.
6. El costo



Los sensores de desplazamiento y de posición puede clasificarse en dos tipos básicos: sensores de contacto, en los cuales, el objeto que se mide está en contacto mecánico con el sensor, y sensores sin contacto, en los que no hay contacto físico entre el objeto y el sensor. En los métodos de desplazamiento lineal por contacto, en general se utiliza un eje sensor en contacto directo con el objeto que se monitorea. El desplazamiento de este eje se monitorea mediante un sensor. Su movimiento se aprovecha para provocar cambios de voltaje eléctrico, resistencia, capacitancia o inductancia mutua. En los sensores que no hay contacto se recurre al objeto medido en las proximidades de dichos sensores, lo que provoca cambios en la presión del aire del sensor, o quizá cambios de inductancia o capacitancia.

*Interruptor de proximidad inductivo.*- Está formado por un devanado enrollado en un núcleo. Al aproximarse el extremo del devanado a un objeto metálico, cambia la inductancia del primero. Este cambio puede monitorearse por el efecto que produce en un circuito resonante y sirve para activar un interruptor. Sólo se puede usar para detectar objetos metálicos y funciona mejor con metales ferrosos.

*Interruptores de proximidad.*- Existen diversas modalidades de interruptores que se activan por la presencia de un objeto, y sirven como sensor de proximidad, cuya salida corresponde al estado de encendido o de apagado.

- a) Un microinterruptor es un pequeño interruptor eléctrico que requiere un contacto físico y una pequeña fuerza de acción para cerrar los contactos. Por ejemplo, si se desea determinar la presencia de un objeto en una banda transportadora, ésta se activa mediante el peso del objeto que empuja la banda, y en consecuencia la plataforma con resorte que está debajo de la banda; el movimiento de dicha plataforma cierra el interruptor.

*Los dispositivos fotosensibles.*- se usan para detectar la presencia de un objeto opaco al interponerse éste entre un haz luminoso, o radiación infrarroja, y el dispositivo, o mediante la detección de la luz que refleja dicho objeto. (figura)

*Sensores de luz.*- Los fotodiodos son diodos de unión hechos con semiconductores, los cuales están conectados en un circuito con polarización inversa, por lo que su resistencia es muy elevada. Cuando la luz incide en la unión, la resistencia del diodo disminuye y la corriente del circuito aumenta de manera notable. En otras palabras, el fotodiodo sirve como dispositivo de resistencia variable, controlado por la luz que en él incide. Los fotodiodos responden muy rápido a la presencia de la luz.

Los fototransistores tienen una unión base colector p-n sensible a la luz. Cuando la luz no incide, la corriente colector-emisor es muy pequeña. Al incidir la luz, se produce una corriente de base directamente proporcional a la intensidad luminosa. Debido a ello se produce una corriente de colector que es una medida de la intensidad luminosa. Es común encontrar fototransistores en forma de paquetes integrados, en los cuales el fototransistor está conectado a una configuración Darlington con un transistor convencional (figura). Dado que



con el arreglo anterior se obtiene una mayor ganancia en corriente, este dispositivo produce una corriente de colector mucho mayor para una intensidad de luz determinada.

### 2.2.2 Selección de sensores

Una vez que ya se tiene una noción de lo que son los sensores y de los distintos tipos que existen, debe hacerse una selección adecuada de ellos para la instrumentación y la automatización. De esta manera, al seleccionar un sensor para una aplicación en particular hay que considerar varios factores:

1. el tipo de medición que se requiere, por ejemplo, la variable que ese va a medir, su valor nominal, el rango de valores, la exactitud, velocidad de medición y confiabilidad requeridas, las condiciones ambientales en las que se realizará la medición.
2. El tipo de salida que se requiere del sensor, lo cual determinará las condiciones de acondicionamiento de la señal, a fin de contar con señales de salida idóneas para la medición.
3. Con base en lo anterior se pueden identificar algunos posibles sensores, teniendo en cuenta rango, exactitud, linealidad, velocidad de respuesta, confiabilidad, facilidad de mantenimiento, duración, requisitos de alimentación eléctrica, solidez, disponibilidad y costo.

La elección de un sensor no se puede hacer sin considerar el tipo de salida que el sistema debe producir después de acondicionar la señal; por ello, es necesaria una integración idónea entre sensor y acondicionador de señal.

Cabe mencionar que para nuestra selección de sensores fue muy importante el aspecto económico. Obviamente lo primordial fue siempre la funcionalidad de acuerdo al tipo de accionamiento y de salida que se requerían. Sin embargo, tratamos de adecuarnos siempre a lo que ya se tenía y a lo más accesible en cuanto a costo. En el capítulo referente a la automatización del prototipo se especificarán estos aspectos más detalladamente.

### 2.3 Sistemas de actuación eléctrica

Para los sistemas eléctricos que se emplearon como actuadores de control se debió tomar en cuenta los siguientes dispositivos y sistemas:

1. Dispositivos de conmutación, como son los interruptores mecánicos (relevadores) y los interruptores de estado sólido (diodos, tiristores y transistores), en los que la señal de control enciende o apaga un dispositivo eléctrico, por ejemplo un motor
2. Dispositivos de tipo solenoide, en los cuales una corriente que pasa por un solenoide acciona un núcleo de hierro dulce, por ejemplo en las válvulas neumáticas operadas por solenoide, donde la corriente de control pasa por el solenoide que se utiliza para regular el flujo neumático (o hidráulico si fuera el caso).



1. **Sistemas motrices**, por ejemplo, motores de corriente directa (cd) y de corriente alterna (ca), en los cuales la corriente que pasa por el motor produce una rotación.

### ***Interruptores mecánicos***

Los interruptores mecánicos son elementos que con frecuencia se usan como sensores para producir y enviar entradas a diversos sistemas. Su empleo como actuadores puede ser, por ejemplo, para encender motores eléctricos, o para poner en circulación una corriente para la actuación de válvulas solenoide que controlan cilindros neumáticos. El relevador eléctrico es un ejemplo de interruptor mecánico que se usa como actuador.

El relevador eléctrico responde a las señales de control mediante una sencilla acción de conmutación de encendido /apagado; la figura ilustra el principio de funcionamiento. Al circular una corriente por el embobinado de alambre se produce un campo magnético y atrae un brazo movable, que es la armadura, la cual produce la apertura o cierre de los contactos. Por lo general hay dos juegos de contactos, uno que se cierra y otro que se abre debido a la acción. Esta acción se aprovecha para transmitir corriente a un motor, por ejemplo.

### ***Motor paso a paso***

Es un dispositivo que produce una rotación en ángulos iguales, denominados pasos, por cada impulso digital que llega a su entrada.

Para su especificación se usan los siguientes términos:

1. *fase*.- se refiere a la cantidad de devanados independientes del estator, por ejemplo, un motor de cuatro fases. La corriente requerida para cada fase, así como su resistencia e inductancia se especifican de manera que también se especifique la salida de conmutación del controlador.
2. *Ángulo de paso*.- se trata del ángulo que gira el rotor durante un cambio de estado en los devanados del estator.
3. *par de retención*.- es el máximo par de rotación que se puede aplicar a un motor energizado sin modificar su posición de reposo y provocar la rotación del eje.
4. *par máximo de enganche*.- es el par de rotación máxima con el que puede arrancar un motor, dada una frecuencia de pulsos, y lograr la sincronización sin perder un paso
5. *par máximo de desenganche*.- es el par de rotación máximo que es posible aplicar a un motor, trabajando a determinada frecuencia de paso, sin perder su sincronización
6. *frecuencia de enganche*.- es la frecuencia de conmutación máxima a la que un motor cargado puede arrancar sin perder un paso
7. *frecuencia de desenganche*.- es la frecuencia de conmutación en la que un motor cargado puede mantener su sincronía conforme se reduce la frecuencia de conmutación.
8. *velocidad de progresión*.- es el rango de frecuencias de conmutación entre el enganche y el desenganche con el cual el motor funciona en sincronía, pero no puede ni arrancar ni invertir su giro.



En el capítulo de Automatización del Prototipo se explica de manera detallada la forma en que se utilizaron los sistemas de actuación eléctrica (las válvulas, el motor a pasos, los motores de corriente directa, relevadores, etc.). Aquí solamente se pretende dar a conocer los sistemas que existen, y explicar de manera muy somera su funcionamiento y sus características.

## 2.4 Neumática

Existen muchas similitudes y afinidades entre la neumática y la hidráulica, tanto en los equipos disponibles como en su funcionamiento. La diferencia principal radica en el fluido de trabajo que es el aire comprimido en el caso de la primera, y el aceite a presión para la segunda. Pueden encontrarse diferencias adicionales como consecuencia de la distinta naturaleza del fluido, que corresponden a los casos de : fuerzas aplicables, tamaños de los cilindros, tipos de válvulas requeridas, sellos y empaques, aplicaciones e instalaciones requeridas, por mencionar algunos. Enfocaremos la atención a la neumática, ya que el prototipo fue diseñado y construido meramente con actuadores y sistemas de actuación neumáticos.

La neumática ha resultado una pareja muy afin con la electrónica. Así, con una señal electrónica, por ejemplo, se pueden mover válvulas de mando neumáticas y posicionar un actuador en un punto determinado del proceso. Otro avance en este desarrollo evolutivo fueron las terminales de válvulas, que agrupan en un solo bloque partes neumáticas, electrónicas y de control.

Anteriormente, los bloques de válvulas y los sensores constituían componentes independientes del PLC, con el que se interconectaban mediante grandes manojos de cables para asegurar el flujo de información y señales. Esto resultaba en serios problemas de mantenimiento, puesto que cada conexión representa un riesgo de falla. Posteriormente, las válvulas y las entradas para sensores se integraron en un solo bloque conectado al controlador, con lo que se eliminó parte del cableado y de los defectos.

En otra etapa, el PLC se pudo adosar al bloque de válvulas, desarrollo con el que desapareció todavía más cableado. Las válvulas y entradas para sensores están ahora reunidas con aquél en una "caja negra", que se conoce como terminal de válvulas inteligentes. Las modernas terminales carecen prácticamente de cableados y están protegidas del polvo y el goteo.

En su forma más primitiva, una instalación de este tipo requería el tendido de muchos metros de tuberías y cables, mientras que las actuales se atornillan directamente sobre el bastidor de la máquina, en una operación sencilla que permite su rápida reparación o sustitución.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### 2.4.1 Sistemas de actuadores neumáticos

Los sistemas de actuadores son los elementos de los sistemas de control que transforman la salida de un microprocesador o un sistema de control en una acción de control para una máquina o dispositivo.

#### *Fuentes de energía*

En una fuente de energía neumática se acciona un compresor de aire con un motor eléctrico. El aire que entra al compresor se filtra y pasa por un silenciador para reducir el nivel de ruido. La válvula de alivio de presión protege contra un aumento de la presión del sistema que exceda el nivel de seguridad. Dado que el compresor aumenta la temperatura del aire, es posible que sea necesario un sistema de enfriamiento; para eliminar la contaminación y agua del aire se utiliza un filtro y un separador de agua. En el receptor de aire se aumenta el volumen del aire del sistema y se equilibran las fluctuaciones de presión de breve duración.

#### *Válvulas para control de dirección*

En los sistemas neumáticos se utilizan válvulas de control de dirección para controlar el sentido de flujo de un fluido que pasa por un sistema. Su función no es modificar el gasto de un fluido, pero son dispositivos abiertos o cerrados por completo, es decir abierto /cerrado (on / off). Estas válvulas se utilizan con frecuencia en el diseño de sistemas de control de secuencia y se activan para cambiar la dirección de flujo de un fluido mediante señales mecánicas, eléctricas o de presión de fluidos.

#### *Actuadores neumáticos*

Los actuadores neumáticos son todos aquellos componentes capaces de transformar la energía potencial latente en el aire comprimido en trabajo mecánico, para el accionamiento de máquinas o mecanismos.

Según la forma de entregar este trabajo mecánico, podemos clasificar a los actuadores en:

- Cilindros: entregan el trabajo en forma rectilínea de empuje-tracción.
- Actuadores de giro: proporcionan movimientos angulares.
- Motores rotativos: tienen un eje que puede girar para accionar mecanismos rotativos.
- 

Los parámetros básicos de los actuadores neumáticos son:

- |                      |                         |
|----------------------|-------------------------|
| ○ Cilindros          | Fuerza y carrera.       |
| ○ Actuadores de giro | Par y ángulo            |
| ○ Motores neumáticos | Par y velocidad angular |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 2.5 Tipos de controles de un proceso

Existen dos formas básicas de realizar el control de un proceso industrial:

- *Control en lazo abierto*: Cuando las señales de mando son independientes de los órganos receptores.
- *Control en lazo cerrado*: Cuando las señales de mando dependen de la posición de los órganos móviles.

### 2.5.1 Control en lazo abierto

El control en lazo abierto (figura 2.1) se caracteriza porque la información o variables que controlan el proceso circulan en una sola dirección, desde el sistema de control al proceso. El sistema de control no recibe la confirmación de que las acciones que a través de los actuadores ha de realizar sobre el proceso, se han ejecutado correctamente

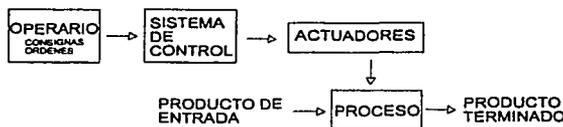


FIGURA 2.1

### 2.5.2 Control en lazo cerrado

El control en lazo cerrado (figura 2.2) se caracteriza porque existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a este último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso. La mayoría de los procesos existentes en la industria utilizan el control de lazo cerrado, bien, porque el producto que se pretende obtener o la variable que se controla necesita un control continuo en función de determinados parámetros de entrada, o bien porque el proceso a controlar se subdivide en una serie de acciones elementales, de tal forma que, para realizar una determinada acción sobre el proceso, es necesario que previamente se hayan realizado otra serie de acciones elementales.

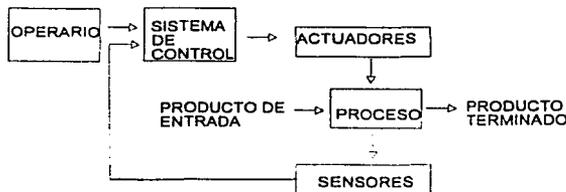


FIGURA 2.2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 2.6 Tipos de procesos industriales

Los procesos industriales, en función de su evolución con el tiempo, **pueden clasificarse en** alguno de los grupos siguientes:

**Continuos:** Un proceso continuo se caracteriza porque las materias primas están constantemente entrando por un extremo del sistema, mientras que en el otro extremo se obtiene de forma continua un producto terminado.

**Discontinuos o por lotes:** Se reciben a la entrada del proceso las cantidades de las diferentes piezas discretas que se necesitan para realizar el proceso. Sobre este conjunto se realizan las operaciones necesarias para producir un producto acabado o un producto intermedio listo para un procesamiento posterior.

**Discretos:** El producto de salida se obtiene a través de una serie de operaciones, muchas de ellas con gran similitud entre sí. La entrada es habitualmente un elemento discreto que se trabaja de forma individual.

## 2.7 Controladores Lógicos Programables (PLC's)

Un Controlador lógico programable (PLC) es un artefacto de estado sólido diseñado para realizar funciones lógicas previamente logradas por relevadores electro-mecánicos.

El diseño de la mayoría de los PLC's es similar al de una computadora. Básicamente, el PLC es un ensamble de elementos lógicos digitales de estado sólido, diseñado para hacer decisiones lógicas y proveer de salidas. Los controladores lógicos programables se usan para el control y la operación de equipo y maquinaria en los proceso de manufactura.

Entonces, el controlador lógico programable es básicamente una computadora diseñada para el control de una máquina. A diferencia de una computadora, ha sido diseñado para operar en un ambiente industrial y está equipado con interfases especiales de entrada /salida y un lenguaje programable para control.

Inicialmente le PLC fue usado para reemplazar la lógica de relevadores, pero su rango siempre creciente de funciones significa que se encuentra en muchas y más complejas aplicaciones. Dado que la estructura de un PLC está basada en los mismos principios que los utilizados en la arquitectura de una computadora, es capaz no solo de realizar tareas de cambio en relevadores, sino también de realizar otras aplicaciones como contar, calcular, comparar y procesar señales analógicas.

Los controladores programables ofrecen varias ventajas sobre el control tipo relevadores convencionales. Los relevadores tienen que ser alambrados para desempeñar una función específica. Cuando los requerimientos del sistema cambian, el alambrado de los relevadores tiene que ser cambiado totalmente o modificado. En casos extremos, como en la industria automotriz, tableros de control completos tuvieron que ser reemplazados dado que económicamente no era viable volver a cablear los tableros viejos con cada cambio de modelo.



El controlador programable ha eliminado mucho del cableado manual asociado con circuitos de control de relevadores convencionales. Es poco y barato en comparación con sistemas de control de proceso basados en relevadores. Los controladores programables también ofrecen confiabilidad de estado sólido, menor consumo de potencia y fácil expansibilidad.

Si una aplicación tiene más de media docena de relevadores, probablemente será más barato instalar un PLC. Simular 100 relevadores, contadores o temporizadores no es problema, aun para PLC's pequeños. Los controladores lógicos programables son fáciles de programar e instalar. Además, el acceso a los PLC's puede ser restringido por elementos de hardware, como candados, y por elementos de software, como lo son contraseñas.

Un PLC típico puede ser dividido en partes, como se ilustra en la figura 1-3. Dichos componentes son la unidad de procesamiento central (CPU), la sección de entradas /salidas (I/O), el suministro de energía, y el aparato de programación.

Hay dos maneras en las que la sección I/O puede ser incorporada a un PLC: fija y modular. La fija (fig 1-4a) es típica de los PLC's pequeños que vienen en un solo paquete sin unidades removibles o separadas. El procesador y la I/O están empaquetadas juntas, y las terminales I/O están disponibles, mas no pueden ser cambiadas. La principal ventaja de este tipo de empaquetamiento es el bajo costo. El número de entradas y salidas disponibles varía y usualmente pueden ser expandidas si se compran unidades de I/O fijas adicionales. Una desventaja de I/O fijas es la falta de flexibilidad, ya que se está limitado en las cantidades y tipos que se pueden obtener de acuerdo al empaquetamiento. Además, en algunos modelos, si alguna parte de la unidad falla, toda la unidad debe ser reemplazada.

Por su parte, las I/O modulares se dividen en compartimentos en los cuales pueden ser conectados módulos por separado. Esta propiedad incrementa enormemente las opciones y la flexibilidad de la unidad.

El CPU es el cerebro de PLC. Un procesador típico normalmente consiste de un microprocesador para la implementación de la lógica y el control de las comunicaciones entre los módulos. El procesador requiere memoria para almacenar los resultados de las operaciones lógicas realizadas por el microprocesador. También es necesaria memoria para el programa EPROM o EEPROM más RAM.

El CPU está diseñado para que el usuario ingrese el circuito deseado en lógica de escalera. El procesador acepta (lee) información de entradas de varios artefactos, ejecuta el programa guardado por el usuario en la memoria, y envía comandos de salida apropiado a los artefactos de control.

El aparato de programación o terminal se usa para ingresar el programa deseado en la memoria del procesador. Dicho programa se ingresa utilizando la lógica de escalera. El programa determina la secuencia de operación y el control del equipo o la maquinaria.



### 2.7.1 Diferencia entre los PLC's y las PC's (computadoras personales)

Ciertamente es posible lograr el control de una máquina por medio de una computadora personal, y prescindir por tanto de un controlador lógico programable. Sin embargo, existen diferencias entre el diseño de ambos, teniendo como resultado aplicaciones muy diferentes.

Aunque la arquitectura de los PLC's y las computadoras es similar, debemos distinguir algunas características importantes entre ambos. Para empezar, el PLC está diseñado para operar en medios de tipo industrial con amplios rangos de temperatura ambiental y de humedad. Un PLC bien diseñado no se ve normalmente afectado por ruido eléctrico inherente en la mayoría de las locaciones industriales.

Una segunda distinción es que el hardware y el software del PLC está diseñada para un uso sencillo, pues está pensada en eléctricos y técnicos. A diferencia de la computadora, el PLC se programa con la lógica de escalera u otros lenguajes de fácil manejo. El PLC está hecho con su propio lenguaje en la memoria permanente, mientras que la computadora personal requiere de un sistema operativo.

Además, las computadoras son máquinas de cálculos complejos, capaces de ejecutar varios programas o tareas simultáneamente y en cualquier orden. Por otro lado, la mayoría de los PLC's ejecutan un solo programa.

Probablemente la diferencia más significativa sea el hecho de que los PLC's han sido diseñados para ser instalados y recibir mantenimiento por eléctricos de las plantas, quienes no requieren tener habilidades muy desarrolladas en cuestiones de computadoras.

### 2.7.2 Selección del PLC

Los PLC's suelen emplearse en procesos industriales que tengan una o varias de la siguientes necesidades:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Programación centralizada de las partes del proceso

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 2.7.3 Aplicaciones generales de los PLC's:

- Maniobra de máquinas



- ~~Mantenimiento~~ de instalaciones
- ~~Realización~~ y control

Entre las ventajas del uso de los PLC's se tiene:

- Menor tiempo de elaboración de proyectos
- Posibilidad de añadir modificaciones sin aumentar costos en otros componentes
- Mínimo espacio de ocupación
- Menor costo de mano de obra
- Mantenimiento económico
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo autómeta
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento
- Si el autómeta queda pequeño para el proceso industrial, puede seguir siendo de utilidad en otras máquinas o sistemas de producción.

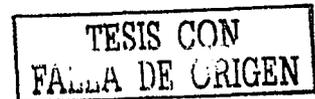
Cabe mencionar que si se toman en cuenta las necesidades del proceso de empaquetamiento, se justifica el uso de los PLC's en el prototipo. En el diseño de la máquina se tuvo en mente desde un principio contar con dimensiones cómodas y no muy grandes. También se pretendió dar flexibilidad a la línea de empaque. Esto significa el no empacar tan solo un tipo de producto, sino dejar la posibilidad abierta a mejorar este aspecto con tan solo un cambio en la programación. Es básicamente por estas razones que resulta muy conveniente el uso de PLC's.

Analizando también las ventajas que éstos proporcionan, encontramos muy adecuado el control seleccionado para nuestro proceso. Una vez más, el factor económico en nuestro caso fue muy importante. Además, el mantenimiento que requiere la máquina es mínimo, y el proyecto fue realizado en un periodo relativamente pequeño.

Por otro lado, vale la pena mencionar también las desventajas que pueden presentar este tipo de controladores.

Entre los inconvenientes de su uso:

- Adiestramiento de técnicos
- Costo



Al día de hoy los inconvenientes se han ido esfumado: Algunas carreras de ingeniería incluyen la automatización entre sus asignaturas y los costos han dejado de ser un obstáculo, ya que hay autómetas para todas las necesidades y a precios ajustados.

## 2.8 Circuitos secuenciales (Flip-flops)

Para el control del alimentador de focos se empleó un motor a pasos. Dichos motores pueden ser controlados por medio de lógica secuencial. Se decidió usar un flip-flop del tipo



JK para controlar el motor. Para esto es necesario hacer el diseño, y construir la tarjeta. Eso se explicará con más detalle en el capítulo referente a la Automatización del Prototipo. A continuación se explica lo que son estos elementos de memoria.

### 2.8.1 Lógica secuencial

Los circuitos lógicos son ejemplos de sistemas de lógica combinatoria. En estos sistemas, la salida está definida por la combinación de las variables de entrada en un instante determinado. Por ejemplo, si la entrada A y la entrada B ocurren al mismo tiempo, entonces la compuerta AND produce una salida. Ésta no depende de cuales fueron antes las entradas. Cuando un sistema requiere una salida que dependa de valores previos de las entradas, lo que necesita es un sistema de lógica secuencial. La principal diferencia entre un sistema de lógica combinatoria y un sistema de lógica secuencial es que éste debe tener algún tipo de memoria.

La parte combinatoria del sistema acepta señales lógicas provenientes de entradas externas y de salidas de la memoria. El sistema combinatorio opera con esas entradas para producir sus salidas. Las salidas son, por lo tanto, función tanto de sus entradas externas como de la información presente en su memoria.

### 2.8.2 Flip-flop

El flip-flop es un elemento de memoria básico que consta de un conjunto de compuertas lógicas. Existen diversos tipos de flip-flops.

#### *Flip-flop JK*

Para diversas aplicaciones no es aceptable el estado de indeterminación que se presenta con un flip-flop SR cuando  $S=1$  y  $R=1$ ; por ello se emplea otro tipo de flip-flop: el flip-flop JK

Éste es un dispositivo biestable que se utiliza mucho. La siguiente es la tabla de verdad de este dispositivo; nótese que la única diferencia respecto de la tabla de estado del flip-flop RS son las líneas cuando ambas entradas son 1.

J	K	$Q_t$	$Q_{t+1}$	$Q_t$	$Q_{t+1}$
0	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0
1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	0	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	1

TEXIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 2.9 Acondicionamiento de Señales

La señal de salida del sensor de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de la operación. La señal puede ser, por ejemplo, demasiado pequeña, y sería necesario amplificarla; podría contener interferencias que eliminar; ser no lineal y requerir su linealización; ser analógica y requerir su digitalización; ser digital y convertirla en analógica; ser un cambio en el valor de la resistencia, y convertirla a un cambio en corriente; consistir en un cambio de voltaje y convertirla a un cambio de corriente de magnitud adecuada, etcétera. A todas estas modificaciones se les designa en general con el término acondicionamiento de señal.

### 2.9.1 Relevadores

Los interruptores mecánicos (relevadores) tienen uno o varios pares de contactos que se abren y cierran en forma mecánica, con lo que se cierran o abren circuitos eléctricos. Es decir, al abrir o cerrar un interruptor se transmiten señales 0 ó 1.

Los interruptores mecánicos se especifican en función de su cantidad de polos y tiros. Los polos son el número de circuitos independientes que se operan con una sola acción de conmutación y los tiros son el número de contactos individuales para cada polo.

### 2.9.2 Interconectándose con un microprocesador

Los dispositivos de entrada y de salida están conectados con un sistema de microprocesador mediante puertos. El término interfaz se refiere a un elemento que se usa para interconectar diversos dispositivos y un puerto. Existen así entradas de sensores, interruptores y teclados, y salidas para indicadores y actuadores.

Hay también que considerar la salida del microprocesador, quizás para operar un actuador. Aquí también es necesaria una interfaz adecuada. En particular, podría presentarse la necesidad de una protección para impedir que las señales que acaban de salir vuelvan a entrar al mismo puerto de salida, lo que dañaría el microprocesador.

Un proceso del acondicionamiento de señales que se utilizó fue el de *Protección*. Ésta sirve para evitar daño al siguiente elemento, por ejemplo, un microprocesador o un controlador, como consecuencia de un voltaje o una corriente elevados. Para tal efecto, se colocan resistencias limitadoras de corriente, fusibles que se funden si la corriente es demasiado alta, circuitos para protección por polaridad y limitadores de voltaje.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



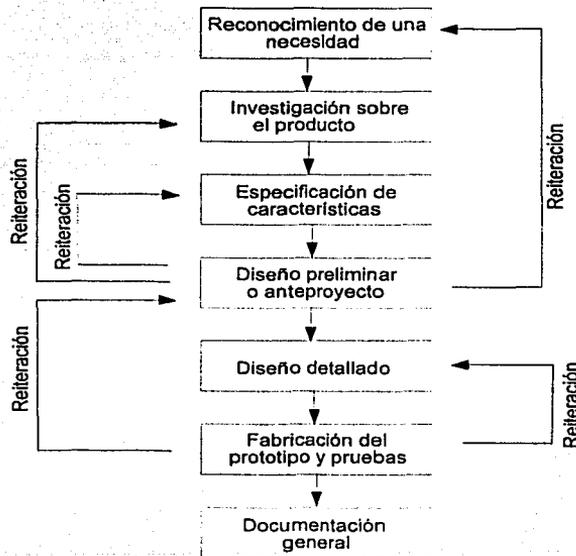
## CAPÍTULO 3

### DISEÑO MECÁNICO DEL PROTOTIPO

El diseño en ingeniería mecánica es un proceso que consiste en aplicar distintas técnicas y principios científicos, con objeto de elaborar, planos, listados de materiales y la documentación necesaria en diferentes fases como para poder fabricar, montar, transportar, poner en marcha y mantener posteriormente una máquina, mecanismo o dispositivo capaz de desempeñar una determinada función.

Tal diseño debe ir superando distintas etapas que no necesariamente tienen por qué ser consecutivas, ya que se trata más bien de un proceso repetitivo, donde alcanzando un cierto nivel de desarrollo del proceso, puede reiniciarse la tarea desde el principio, desde cualquier escalón del diseño; o incluso pueden anularse la totalidad del proyecto o una parte del mismo.

En la figura 3.1 se muestra un camino razonable del proceso de diseño, donde se han establecido una serie de etapas que a su vez pueden subdividirse en tantas como sean necesarias. Sin embargo se ha preferido simplificar y resaltar aquellas que pueden resultar de mayor interés.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 3.1 Diagrama de flujo en el proceso de diseño



### 3.1 Reconocimiento de una necesidad

La necesidad en este caso ha sido presentada por una empresa interesada en el mejoramiento de la etapa final de su sistema de producción, la cual se refiere al embalaje y almacenamiento del producto.

La empresa en cuestión se dedica en México a la producción y distribución de focos, principalmente de uso doméstico. Sin embargo, debido a la demanda creciente y a las exigencias de la competencia, se decidió introducir en el mercado el foco con bahía E-14, el cual por su construcción es clasificado de uso severo y se aplica principalmente en maquinaria industrial, anuncios publicitarios, pantallas gigantes y en la industria de la diversión.

Para poder cubrir este mercado la empresa realizó importaciones del producto desde su planta en Alemania, lo cual elevaba el precio del mismo, poniéndolo en desventaja con la competencia; por tal motivo, se decidió producir el foco en nuestro país. Actualmente la demanda es de 100,000 a 150,000 piezas mensuales.

El problema que presentó la empresa radica en que la máquina con que se cuenta es capaz de producir la demanda de focos mensuales en una semana, lo cual implica el almacenamiento de grandes cantidades de producto. Al salir los focos de la máquina que los produce son depositados a granel en recipientes cilíndricos y transportados en vehículos manuales hasta el área de almacenaje, en donde debido a los movimientos de la empresa son cambiados de lugar constantemente. Después de ser almacenados el tiempo necesario, son empacados en cajas especiales mediante un proceso manual, en el cual trabajan cuatro empleados. Por medio de quejas de los clientes se ha detectado que entre un cinco y diez por ciento de los focos son defectuosos. Después de realizar las revisiones necesarias, se determinó que el producto se dañaba durante el movimiento interno en la planta; esto es, desde que sale de la etapa de prueba de la máquina en la que se asegura la calidad del producto, hasta que llega a la estación del empacado manual. Al analizar el producto se encontraron dos tipos de fallas: filamentos dañados y pérdida del vacío. Las fallas anteriores fueron atribuidas al choque entre los focos almacenados a granel, producido por el constante movimiento del almacén.

La necesidad de la empresa resulta entonces clara: *eliminar al máximo las fallas en el producto sin elevar los costos de producción.*

Después de las pruebas adecuadas, la solución que se propuso fue empacar el producto inmediatamente después de pasar por la prueba de calidad. Además, para evitar el empleo de un número alto de personal de embalaje y evitar los fallos de naturaleza humana, la mejor manera resultó ser instalar una máquina que se encargue completamente del embalaje del producto. En la figura 3.2 se muestra esquemáticamente esta propuesta.

Un aspecto de gran importancia que no puede dejarse de lado es que la empresa desea vender su producto en distintas presentaciones de acuerdo a la cantidad de piezas por caja, siendo las más solicitadas las de 20 y 30 piezas. Por tal motivo, la maquinaria propuesta debe cumplir con el aspecto de variabilidad en la presentación y en las características del producto.

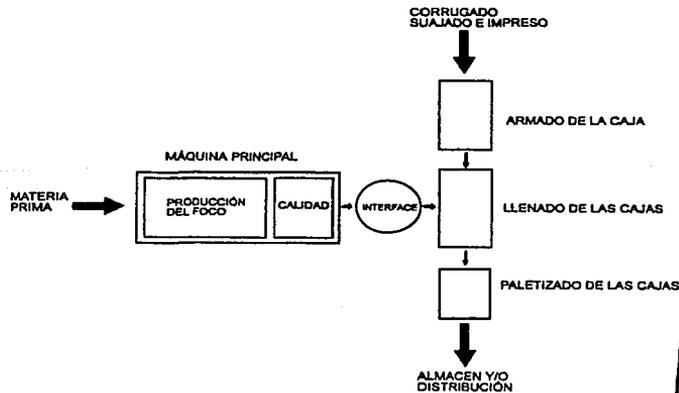


FIGURA 3.2

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De esta manera nuestro trabajo ahora se reduce al diseño y construcción de una máquina para satisfacer las necesidades anteriores.

### 3.2 Investigación sobre el producto

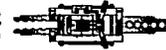
En el mercado se encuentran disponibles una gran cantidad de máquinas (principalmente de fabricación extranjera) para el armado de cajas, incluyendo aquellas capaces de ensamblar las cajas de armado automático como las que se utilizan para empacar los focos; existe otra gran oferta de máquinas para el paletizado de productos que se pueden adaptar a nuestras necesidades. Sin embargo, para la etapa del llenado de las cajas, en la que se maneja un producto en específico, es necesario adecuar costosas máquinas que se ofrecen para tales fines.

Existe un par de máquinas de fabricación italiana en las cuales la empresa ha tenido mayor interés. Sin embargo, además de resultar costosas y causar problemas de importación, etc., es necesario realizarles serias modificaciones para adecuarlas a las necesidades del producto.

La empresa llegó a la conclusión de que la mejor opción es diseñar una máquina especial para el manejo de su producto, con las condiciones de que el funcionamiento sea satisfactorio y que el costo total del proyecto sea menor al ofrecido por la empresa consultada.

Para ello se ha observado maquinaria de embalaje, poniendo principal interés en los niveles de automatización, sistemas de actuación, métodos de sujeción, manipulación y posicionamiento, así como sistemas de control utilizados.

En los capítulos anteriores, como ya se pudo constatar, se detalla más a fondo esta investigación previa al diseño conceptual de la máquina.



### 3.3 Especificación de características

Las especificaciones generales con las que ha de cumplir la máquina a diseñar se enuncian a continuación:

- Debe ser capaz de empacar un promedio de 3,000 focos por hora, y esta velocidad debe ser ajustable.
- Por ningún motivo debe causar daño a un producto que sea empaquetado.
- Debe recibir la caja armada y entregarla llena, cerrada y con opción de portar una etiqueta, o un código impreso.
- Debe ser una máquina segura y de fácil utilización.
- El nivel de automatización será tal, que no necesite supervisión, a menos que mediante un sistema de alerta lo requiera.
- El cambio de presentación del producto se podrá realizar en cualquier instante, sin necesidad de parar la máquina para realizar ajustes, y se hará por medio de un botón selector.
- Debe ser capaz de admitir ciertas variaciones en la geometría del producto, para lo cual podrá realizarse un paro y después llevar a cabo los ajustes necesarios.
- Contará con un botón de arranque y uno de paro de proceso, con el cual se detendrá el proceso al terminar el ciclo en curso.
- Existirá un botón de paro de emergencia que inhibirá cualquier acción en la máquina.
- Se deben prever fallos en la energía eléctrica de la planta.
- Se colocarán señales de advertencia visuales y resguardos desmontables como medidas de protección.
- El medio ambiente en que se instalará la máquina es de condiciones normales.
- El tiempo de vida de la máquina debe ser tal que amortice ampliamente los costos iniciales y de mantenimiento.
- El nivel de ruido de la máquina debe ser el menor posible.
- El mantenimiento de la máquina debe ser sencillo, y requerir del menor equipo posible.
- Los sistemas de actuación podrán ser eléctricos y neumáticos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



- La tensión de alimentación será 110 volts 60 herzt de corriente alterna.
- La presión de la instalación neumática es de 6 bares con un gasto disponible de 1.5 metros cúbicos por minuto.
- El tamaño de la máquina tendrá que ser el menor posible, y debe ser de fácil fijación y transporte.
- Se fabricará solamente una máquina.

Las características del producto se indican en la tabla siguiente y fueron facilitadas por la empresa fabricante de los focos.

Tipo	Tubular bahía E-14
Potencia	10 W
Voltaje	130 V
Frecuencia	50-60 Hz.
Peso	0.010 Kg
Resistencia mecánica en el eje y	270 N entre la cúpula y el borne.
Resistencia mecánica en el eje x	85 N entre las paredes del vidrio
Frecuencia mecánica de falla	120 Hz (0.1mm de amplitud).
Impacto máximo en el eje x	10 m/s
Material de la bahía	Latón
Material del borne	Estaño
Material de la esfera	Vidrio

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

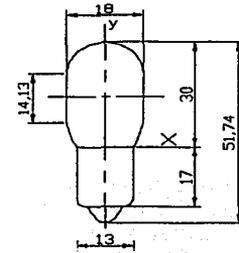


Figura 3.3 Dimensiones del foco

En lo que concierne a las cajas, éstas cuentan con un diseño especial para la protección de los focos. Están fabricadas en cartón microcorrugado de 1.5 milímetros de espesor y de flauta tipo A, la cual es la que ofrece la mayor resistencia. En el interior de las cajas se encuentra una rejilla de forma matricial, que tiene la función de separar los focos para evitar el contacto entre ellos. Además permite que el producto sea tomado fácilmente con la mano.

En la figura 3.4 se presentan las dimensiones principales de las cajas de 20 y 30 focos.

Es importante notar que para las distintas presentaciones se mantiene constante el ancho de la caja, el cual corresponde a cinco hileras de focos. Esto implica que se puede variar la capacidad del empaque aumentando o disminuyendo el número de columnas.

El espacio que recibirá cada foco dentro de la caja es ligeramente mayor al diámetro del foco, lo cual define la tolerancia que debe tener la máquina para insertar los focos en cada celda. Dicha tolerancia es de 1 mm por lado.

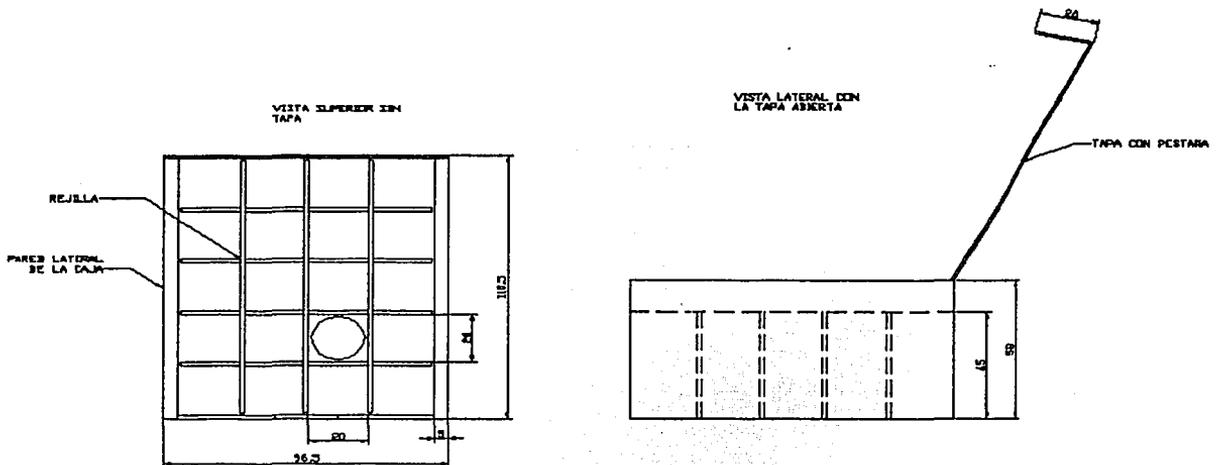


FIGURA 3.4

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.4 Diseño preliminar o anteproyecto

Establecidos ya los requisitos o especificaciones básicas para iniciar el proyecto, corresponde ahora la labor de plasmar los primeros esbozos de lo que puede ser la futura máquina. Es ésta una etapa laboriosa y de gran trascendencia. Se conocen ya con suficiente aproximación los objetivos finales que se pretenden, mas no la forma ni los medios que se habrán de emplear para conseguirlos. La ingeniería mecánica ofrece demasiadas alternativas como para que sólo exista una posibilidad de llegar a esa meta. En esta etapa del diseño los conocimientos del ingeniero, la experiencia, el talento, la imaginación y su capacidad creativa son esenciales, ya que la calidad del proyecto dependerá de tales cualidades. Las herramientas que se utilizan en esta etapa son el papel, el lápiz y el trazo a mano alzada.

En nuestro caso el primer paso fue definir, a grandes rasgos, el proceso que realizará la máquina. Éste se ilustra en la figura 3.3. y consta de seis etapas fundamentales, que van desde alimentar una caja vacía, hasta cerrar la tapa una vez que el producto se encuentra empaquetado.

Las etapas se llevan a cabo sucesivamente. Sin embargo, mientras se cierra una caja es posible comenzar a destapar otra; esto es, se pueden procesar dos cajas al mismo tiempo con el fin de disminuir los tiempos muertos durante el proceso.

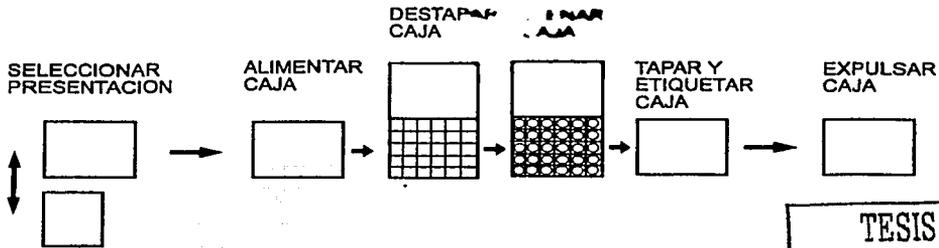


FIGURA 3.3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Después de identificar claramente cada parte del proceso se determinó el número de estaciones de trabajo o módulos que constituirán la máquina y que en seguida se enumeran y se describe su función dentro del proceso.

1. *Alimentador de cajas:* esta estación se encarga de recibir las cajas procedentes de la etapa de armado, las almacena por un corto tiempo mientras son procesadas y las conduce hasta el siguiente módulo; también se encarga de seleccionar el tipo de presentación que se desea procesar.
2. *Abrir caja:* es en este módulo donde se destapa la caja procedente del alimentador, se asegura la tapa para evitar que se cierre mientras la caja es llenada y se envía la caja abierta a la siguiente estación.
3. *Posicionamiento:* esta estación es de las más importantes, pues su función principal es alinear la caja en la posición correcta para recibir una columna de focos. Una vez llena una nueva columna, el módulo se encarga de recorrer la caja hasta preparar otra columna vacía para ser llenada igualmente. Cuando la caja ha sido completada en su totalidad, ésta es trasladada hasta la estación siguiente.
4. *Manipulador:* en realidad este módulo es el que realiza el llenado de la caja. Toma las columnas de cinco focos que provienen de la interface y las coloca dentro de las celdas vacías que la estación de posicionamiento ha preparado.
5. *Interface:* se encarga de recibir los focos después de haber cumplido con el control de calidad y de prepararlos para ser tomados por el manipulador.
6. *Cerrar caja:* es en esta estación donde se cierra la caja, insertando la pestaña en el espacio correspondiente. Es aquí donde se puede instalar una etiquetadora automática que coloque la estampa una vez cerrada la caja.



7. *Expulsión*: este módulo toma las cajas llenas provenientes del módulo de posicionamiento y las traslada hasta la estación de cerrar caja. Una vez que dicha estación termina su ciclo, las envía hacia la resbaladilla de expulsión que las conduce hacia el proceso de paletizado.

En la figura 3.6 se muestra la disposición general de las siete estaciones que conforman la máquina.

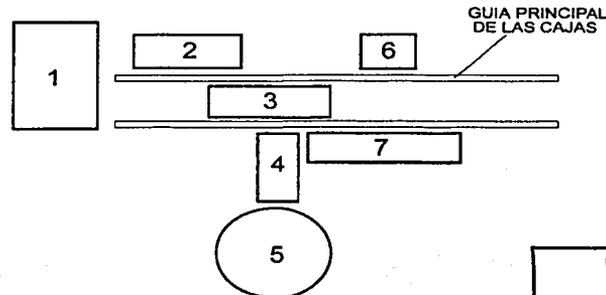


FIGURA 3.6

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

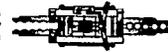
Una vez comprendida la función de cada una de las etapas se procede a esbozar las posibles soluciones y las primeras aproximaciones de los sistemas a diseñar, desechando aquellas posibilidades que no cumplan con las especificaciones. Entonces se adopta objetivamente la solución más óptima de acuerdo a los criterios establecidos (funcionalidad, factibilidad, fiabilidad, control, costos, manufactura, mantenimiento, etc.). La parte que sigue es diseñar detalladamente cada uno de estos módulos por separado, pero sin olvidar las relaciones que deben guardar entre sí, y también con los demás componentes de la máquina (como son el bastidor, torre de alarmas, caja de control, sensores, etc.).

### 3.5 Diseño detallado

A continuación se presenta la descripción de cada una de las etapas, comenzando por la interface. Fue la primera en diseñarse debido a que es la primer estación que estará en contacto con el producto y definirá por lo tanto las dimensiones del manipulador; y este a su vez las dimensiones de los demás módulos.

#### 3.5.1 Interface

Esta estación está íntimamente relacionada con la máquina que produce los focos. De hecho es parte de ella, ya que hace las veces de etapa de expulsión del producto después de haber sido sometido al control de calidad. Consta de un disco en el cual se encuentran los espacios



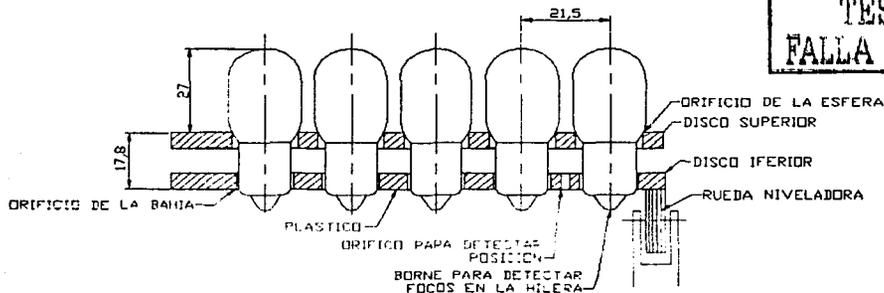
en los que han de acomodarse los focos, y de un sistema de actuación capaz de posicionar el producto para poder ser tomado por el manipulador.

Para el funcionamiento del prototipo y por razones de espacio se diseñó un disco con 40 columnas de 5 focos cada una. Cada columna corresponde al tamaño de la columna de la caja, con el propósito de que el manipulador tome cinco focos por cada operación, y lograr así disminuir el tiempo del proceso. De esta manera, la capacidad total del disco es de 200 piezas, pero puede construirse uno de mayor tamaño según el espacio disponible en la planta.

El foco debe de viajar verticalmente con la bahía apuntando hacia abajo, tal como sale de la máquina y como quedará dentro de la caja, Esta posición facilita también la sujeción del producto mediante unas pinzas (gripper), para lo cual deberá ser tomado sobre su eje x y sobre las caras del vidrio, las cuales deben de permanecer descubiertas dentro del disco para poder cumplir con esta función. Los espacios entre las columnas de agujeros en el disco deben ser tales, que permitan la libre apertura y cierre del gripper cuando una columna de focos es tomada; este espacio es crítico en los focos que se encuentran más cerca del centro del disco.

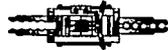
Además de lo anterior, el disco debe tener poca inercia, ya que esto permitirá una mayor precisión en el posicionamiento de las columnas. El disco también debe ser capaz de detenerse y bloquearse en la posición correcta mientras los focos son tomados por el manipulador.

Para lograr lo anterior se optó por una interface formada por dos discos superpuestos, de tal manera que el disco inferior se encargue de recibir la bahía del foco y el superior de centrar la parte de la esfera, sin permitir que ésta se introduzca en el espacio entre los discos y obligándola a quedar descubierta para poder ser tomada por el gripper. De esta forma, al estar cada foco sustentado por ambos discos, éste se mantiene vertical. El disco inferior debe permitir la acción de dos sensores: uno que detecte la posición en que debe detenerse el disco y otro que detecte la presencia de focos en la columna. Para tal fin se dejó al descubierto el borne del foco que es de estaño y así puede ser detectado mediante un efecto inductivo. Además se realizaron orificios en cada posición de paro, para hacer las veces de un encoder. También se instaló una rueda auxiliar para asegurar que la distancia de sensado inductivo sea siempre constante. La Figura 3.7 muestra la disposición de los discos.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 3.7



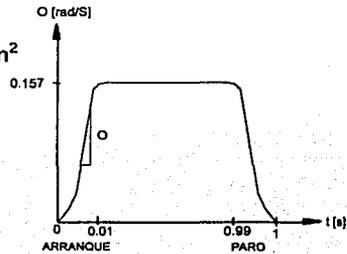
Con el objetivo de disminuir la inercia, los discos se construyeron de acrílico opaco, sustentados por cuatro radios de perfil tubular de aluminio. El eje de rotación está basado en una chumacera de doble rodamiento de rodillos, y está acoplado al disco mediante un plato de sujeción. Éste eje porta la polea conducida del sistema de actuación.

Para realizar los movimientos del disco se utilizó un motor a pasos unipolar, con una reducción de banda y poleas dentadas para asegurar el posicionamiento angular correcto del disco en las posiciones de paro, y también para poder bloquear de manera eléctrica el movimiento del disco, dando al motor de pasos una secuencia de freno.

Para la selección del motor y la transmisión se realizó el siguiente procedimiento:

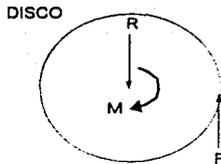
**Datos**

- Momento de inercia del disco con 200 focos =  $I = 0.15 \text{ kg m}^2$
- Radio del disco =  $r = 0.29 \text{ cm}$
- Estaciones de paro =  $n = 40$
- Tiempo requerido entre estaciones =  $t = 1 \text{ s}$
- Fuerza normal en la rueda auxiliar =  $f = 6 \text{ N}$
- Coefficiente de fricción entre la rueda y el disco =  $\mu_s = 0.22$
- $M$  = par de giro aplicado en el eje
- $F$  = fuerza de fricción entre la rueda y el disco
- $R$  = reacción en el eje



VELOCIDAD ANGULAR APROXIMADA DEL DISCO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

El diagrama de cuerpo libre del disco, despreciando la fricción en los baleros, se muestra en el esquema:



$$M - rF = I\theta$$

$$M - 0.29(6)(0.22) = 0.15 \left( \frac{0.157}{0.01} \right)$$

$$M = 2.74 \text{ Nxm}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como se puede ver, se requiere de un par muy bajo para mover el disco. La velocidad angular de 0.157 rad/s que requiere el disco es muy lenta para un motor de pasos trabajando a su velocidad óptima, por lo cual se utilizó una reducción de 3 a 1 y se seleccionará un motor de 1.8 grados/paso, con el fin de mantenerlo trabajando cerca de su velocidad ideal. El número de pasos necesario para que el disco cambie de estación es:

$$N_{pasos} = \left( \begin{matrix} 360[^\circ] \\ 40 \end{matrix} \right) \left( \begin{matrix} 3 \\ 1 \end{matrix} \right) \left( \begin{matrix} 1 \\ 1.8[^\circ / \text{paso}] \end{matrix} \right) = 15 \text{ pasos}$$



El motor que se utilizó es de 5.1 VDC y 1.0 A por fase, el cual junto con la reducción de velocidad nos aseguran mantener un par mayor al necesario para mover el disco. Esto resulta conveniente porque al dejar energizado el motor en un paso en particular, se aplicará un par de frenado muy alto que será triplicado por la reducción de poleas. De esta manera el disco se "bloqueará" mientras los focos se encuentran en la posición correcta para ser tomados por el manipulador.

En la figura 3.7 se ilustran las características más importantes de la interface.

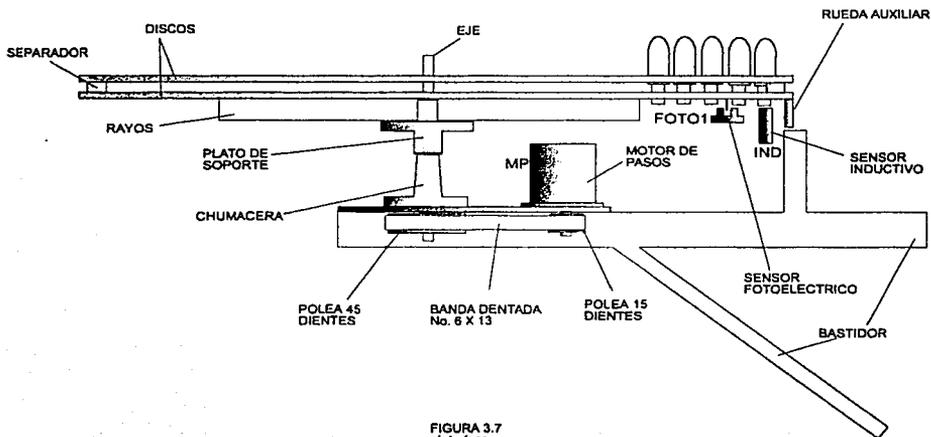


FIGURA 3.7  
Interface

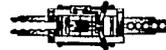
### 3.5.2 Manipulador

Una vez conocidas las dimensiones y características de la interface se procede a diseñar detalladamente el manipulador, que como se mencionó antes, es quien realmente se encarga de realizar el embalaje de los focos.

El tiempo en que el manipulador tome los focos de la interface y los deposite en la caja será el tiempo de empaquetado, por lo cual debe ser lo suficientemente rápido como para cumplir con las especificaciones de velocidad mencionadas en su ocasión.

Para cumplir con este objetivo se diseñó un manipulador con dos pinzas opuestas y de funciones contrarias; esto es, mientras una pinza abre la otra cierra. De esta manera el tiempo de manipulación se reduce a la mitad, pues en lo que una pinza coloca una columna de focos dentro del empaque, la otra toma una columna de la interface.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



De acuerdo a su volumen de trabajo, este es un manipulador es del tipo cilíndrico y cuenta con dos grados de libertad más un dato que indica el estado de las pinzas.

Se comenzó diseñando las pinzas, las cuales deben tomar cinco focos a la vez. Para lograr esto se optó por dar una forma especial a la superficie que tendrá contacto con las paredes laterales del producto, que como se mencionó en párrafos anteriores, es el lugar de donde se debe asir el foco. Dicha forma asegura la distribución de la fuerza de apriete sobre una superficie amplia del producto.

El movimiento de las mordazas es paralelo, ya que de esta forma se tiene contacto con los cinco focos a la vez. Con el fin de compensar las pequeñas diferencias en diámetro del producto se recubrieron las pinzas con un material esponjoso que hace las veces de una muelle entre la mordaza y la pieza a sujetar. Este material también tiene la función de proteger al producto contra rayones o cargas concentradas excesivas; y es en sí quien genera la presión de apriete sobre el foco al sufrir una pequeña compresión. Las mordazas se construyeron de aluminio de 9 mm de espesor con una disminución de espesor en la punta, esto para evitar que al abrir la pinza se dañen los focos que se encuentran más cercanos al centro del disco. En la figura 3.8 se ilustran las características principales de las pinzas.

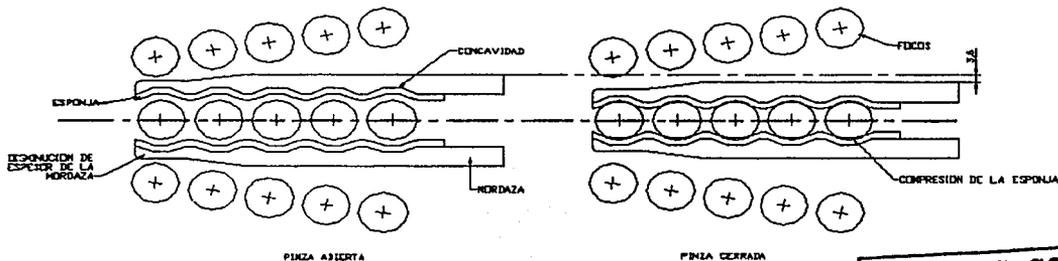


FIGURA 3.8

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para llevar a cabo la apertura y cierre de las pinzas se utilizó un mecanismo actuado mediante un cilindro de doble efecto. Este mecanismo tiene posibilidad de variar la longitud de apertura de las mordazas, con el fin de poder ajustar la misma en caso de presentarse futuras variaciones en el producto; o bien, puede hacerse un cambio de mordazas.

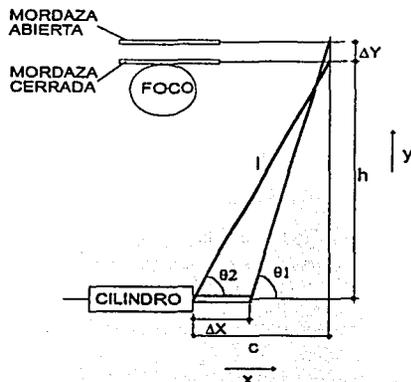
Las mordazas están colocadas sobre sus soportes por medio de uniones atornilladas que tienen dos funciones: ajustar la separación entre mordazas y arreglar las pinzas de tal manera que mientras una abra la otra cierre. Los soportes restringen el movimiento de las pinzas por medio de dos guías, obligando a mantener siempre paralelas las mordazas.



El mecanismo se sintetizó de la siguiente manera

Carrera del cilindro: 15 mm

Carrera de apertura requerida en las mordazas. 3.6 mm (a cada lado del foco).



En el diagrama la línea gruesa representa la barra de longitud  $l$ , y se muestran las posiciones con el cilindro extendido y retraído.

$\Delta Y$  es la apertura a un lado de las pinzas  
 $\Delta X$  es el avance del vástago del cilindro.  
 $c$  es la posición del cilindro, que ocasiona junto con  $h$  las inclinaciones  $\theta_1$ .

Se desea encontrar la relación de la apertura  $\Delta Y$  con la longitud de la barra  $l$  y la posición del cilindro  $c$ , para lo cual se realizó el siguiente análisis geométrico.

1-----  $l^2 = (c - \Delta x)^2 + (h + \Delta y)^2$

2-----  $h^2 = l^2 - c^2$

Sustituyendo 2 en 1 y despejando se tiene la relación buscada:

3-----  $\Delta y = \sqrt{l^2 - (c - \Delta x)^2} - \sqrt{l^2 - c^2}$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

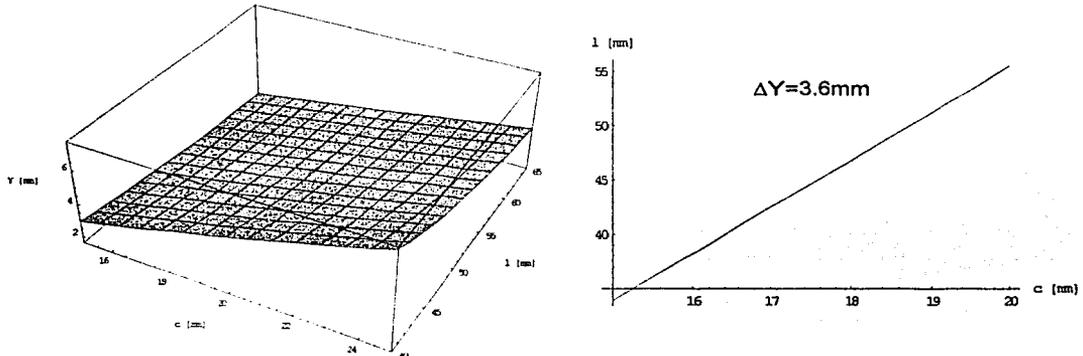
Hay que recordar que  $l$  y  $c$  son las constantes buscadas. Vale la pena observar que si  $\Delta x$  es nula,  $\Delta y$  también lo es, lo cual indica que si el cilindro no se mueve, tampoco las barras lo harán. Esto nos asegura que efectivamente tenemos un mecanismo, ya que sólo se tiene un grado de libertad.

Si hacemos que  $\Delta x$  sea igual a la carrera del cilindro, podremos seleccionar los valores de  $l$  y  $c$  adecuados para conseguir la apertura  $\Delta y$  requerida en las mordazas. Para facilitar esta selección se obtuvieron las gráficas que se muestran a continuación. La primera es una superficie donde se pueden seleccionar barras entre 40mm y 65 mm y posiciones del cilindro entre 15mm y 25mm (la posición mínima del cilindro es con  $c=15$ mm), con lo cual se pueden

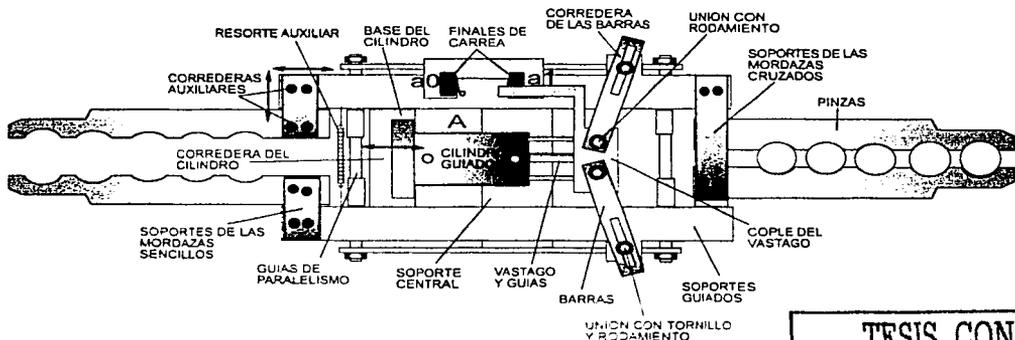


obtener longitudes de apertura entre 2mm y 6mm aproximadamente. La segunda es una gráfica bidimensional donde se ha fijado la apertura  $\Delta y$  a 3.6 mm, que es nuestro requerimiento y se relaciona la longitud de la barra con la posición del cilindro; esta gráfica es de gran ayuda en nuestro caso, ya que basta con seleccionar la posición  $c$  para encontrar la longitud de la barra adecuada, asegurando así que se conseguirá la longitud de apertura propuesta. Nosotros hemos seleccionado  $c = 18$  mm para la cual resulta  $l = 45.6$  mm.

La barra y la base del cilindro se dotarán de correderas que permitan variar fácilmente las



longitudes para así realizar la calibración del mecanismo. La longitud de estas correderas corresponderá al recorrido y rango de la superficie de la primer gráfica. La unión entre las barras se realiza con rodamientos para asegurar el buen funcionamiento del mecanismo. En la parte de la corredera de las barras se implementó un tornillo que permite ajustar la longitud de las mismas y que gira sobre el rodamiento montado sobre el soporte guiado. En la figura 3.9 se muestran las características más importantes de esta parte del manipulador.

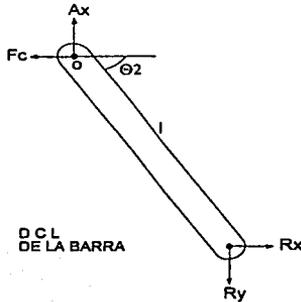


vista superior  
FIGURA 3.9

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Para la selección del diámetro del cilindro se calculó la fuerza máxima de apriete de las pinzas, tomando en cuenta que cuando éstas contengan focos, el mecanismo permanecerá estático, a menos que se cause daño al producto, lo cual debe evitarse asegurando que la fuerza de las pinzas sea menor a la resistencia de los focos en el eje x.



$$\sum F_x = 0 \quad R_x = F_c$$

$$\sum F_y = 0 \quad A_x = R_y$$

$$\sum M_o = 0 \quad R_y l \cos \theta_2 - R_x l \sin \theta_2 = 0$$

Combinando las ecuaciones se tiene

$$R_y = F_c \tan \theta_2$$

Donde  $F_c$  es la mitad de la fuerza que aplica el cilindro y  $R_y$  es la fuerza de apriete. Si hacemos  $R_y$  igual a la resistencia de los focos y sustituimos el valor de  $\theta_2$ , podemos determinar el diámetro máximo del émbolo como sigue:

$$F_c = \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \left( \frac{P}{2} \right) \quad \tan \theta_2 = \frac{\sqrt{l^2 - c^2}}{c} = \frac{\sqrt{45.6^2 - 18^2}}{18} = 2.33$$

Hay que recordar que en los cilindros la fuerza de avance es diferente a la de retroceso, debido a la superficie que ocupa el vástago, siendo mayor la de avance, que es la que nos interesa en este caso.

Sustituyendo y despejando en la ecuación de equilibrio y aplicando un factor de pérdidas de 15%:

$$D = \sqrt{\left( \frac{R_y}{\tan \theta_2} \right) \left( \frac{4}{\pi} \right) \left( \frac{2}{P} \right)} \quad D = \sqrt{\left( \frac{85 \times 5}{2.33} \right) \left( \frac{4}{\pi} \right) \left( \frac{2}{6 \times 10^5 (0.85)} \right)} = 0.030 \text{ m}$$

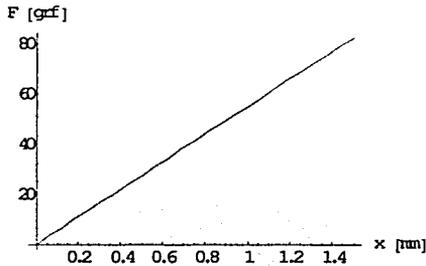
Por lo que se utilizará un cilindro de 25mm de diámetro de émbolo para asegurar la integridad de los focos en una situación de sobrepresión.

Como ya se mencionó en un párrafo anterior, en realidad es la esponja la que aplica presión sobre los focos, pues el mecanismo no ejerce toda su fuerza sobre el producto. Esto es debido a que antes que la presión se aplique en el producto, el cilindro ha completado su carrera, deteniendo de esta forma el movimiento de las pinzas y logrando comprimir apenas unos milímetros la esponja contra la pieza a sujetar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Para determinar la fuerza real de sujeción de cada foco se modeló la esponja como un resorte lineal, obteniendo la siguiente gráfica.



En nuestro caso la esponja sufre una deformación de 1.2mm aproximadamente, lo cual corresponde a una fuerza de 66 gf por lado, o sea una fuerza total de 132 gf, que es mucho menor a la resistencia del foco en el eje x, y que multiplicada por el coeficiente de fricción estático entre la esponja y el vidrio ( $\mu_s=0.32$ ) nos dará la fuerza máxima que puede aplicar la esponja para evitar que el foco caiga de la pinza.

$$F_{\text{esponja}} = 0.32(132) = 42 \text{ gf}$$

Ya que la fuerza de gravedad sobre el foco es de 10gf, se asegura que no se caerá de la pinza, y la aceleración máxima a la que el manipulador podrá levantar los focos sin que estos se desprendan es:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{(42 - 10)(.0098)}{0.01} = 31.4 \text{ m/s}^2$$

Como se puede ver resulta una aceleración bastante alta, por lo cual se aceptó la esponja para recubrir las pinzas.

Una vez terminado el sistema de sujeción de los focos se procede a diseñar el sistema que se encargará de llevarlos desde el disco hasta la caja. Este procedimiento se realizará en tres pasos: levantar los focos para sacarlos del disco, girar el sistema de sujeción hasta colocar los focos por encima de la caja, y bajar los focos dentro de las celdas correspondientes.

Debido a su control sencillo, su precisión de posicionamiento y su bajo costo, se decidió realizar el giro mediante un cilindro giratorio de paletas. El movimiento vertical se realizará mediante un cilindro lineal guiado de doble efecto. Cabe mencionar que existe en el mercado un cilindro que realiza las dos funciones a la vez, pero tiene la desventaja de ser costoso.

La elección del actuador de giro tiene varias facetas a considerar:

- Determinación del par
- Frecuencia máxima de accionamientos
- Amortiguación

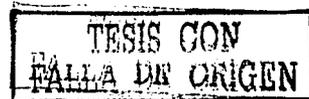
Datos

Tiempo solicitado de giro = 1 s

Masa en movimiento = 1.7 kg

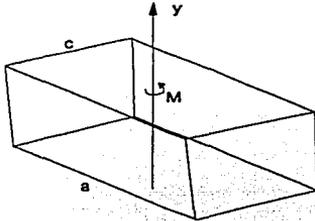
Eje del cilindro sobre el centro de masa del sistema en movimiento.

Presión = 6 bar.





El momento de inercia del sistema en movimiento se aproximará con el de un prisma rectangular homogéneo:



$$I_y = \frac{1}{12} m(c^2 + a^2) \quad I_y = \frac{1}{12} (1.7)(0.1^2 + 0.26^2) = 0.011 \text{ kgm}^2$$

Como la aceleración angular es constante

$$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt} \quad \theta = \int \dot{\theta} dt = \ddot{\theta} \int t dt$$

Resolviendo la integral y despejando

$$\ddot{\theta} = \frac{2\theta}{t^2} = 6.2832 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$M = \ddot{\theta} I \quad M = 6.2832(0.011) = 0.069 \text{ Nxm}$$

Con este valor se localiza en un catálogo el actuador correspondiente a este par a una presión de 6 bar. Un dato muy importante a tener en cuenta es la frecuencia de accionamiento, que si es muy alta, debe conducir a la elección de un actuador de modelo superior.

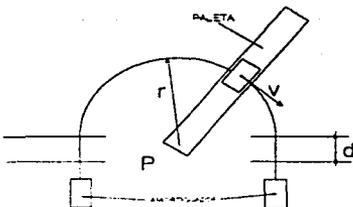
Aún más importante que la frecuencia de accionamiento es la capacidad de amortiguación. En las tablas técnicas aparece la energía máxima que un actuador de giro puede soportar. La energía que debe disipar nuestro sistema es:

$$E = \frac{1}{2} I \dot{\theta}_F^2 = \frac{1}{2} 0.011(6.2832)^2 = 0.217 \text{ Nm}$$

Donde el subíndice F indica el valor final .

Se cuenta con un cilindro de giro que otorga un par de trabajo de 0.8 Nxm, el cual es mayor que el calculado para mover el sistema. Sin embargo, no posee amortiguamiento, y sólo es capaz de disipar 0.15 Nm sin causar problemas, como pueden ser el rebote, golpes, etc.

Para solucionar este problema es necesario instalar amortiguadores externos, y para su selección es necesario calcular el impacto que recibirán:



Donde  $d$  es la distancia de amortiguamiento.

La energía debido a la propulsión del actuador en la zona de amortiguamiento es:

$$E_d = \frac{M_r d}{r} = \frac{0.8(0.005)}{0.01} = 0.4 \text{ Nm}$$



La energía total a disipar será:

$$E_T = E + E_A = 0.217 + 0.4 = 0.617 Nm$$

La velocidad del impacto sobre el amortiguador es:

$$V = \theta_F r = 6.2832(0.01) = 0.062832 m/s$$

Por lo que el impacto que debe soportar el amortiguador será:

$$Im\ pacto = \frac{2E_T}{V} = \frac{2(0.617)}{0.062832} = 19.64 Ns$$

Con este valor y las tablas del fabricante, se selecciona el amortiguador que necesitamos.

Para terminar con el manipulador resta seleccionar el cilindro que proveerá el movimiento vertical. En la figura 3.10 se puede observar que la carrera necesaria para sacar los focos del disco y evitar el choque entre las piezas que permanecen en él y las que están siendo transportadas es igual a la altura del foco más una tolerancia.

$$Carrera = s = 52 + 8 = 60 mm$$

La masa que tiene que levantar este cilindro es la suma de la masa del sistema de sujeción más la del sistema de giro, incluyendo los soportes necesarios para el montaje y las guías antigiro del cilindro en cuestión.

$$m = 1.7 + 1.2 = 2.9 kg$$

Se requiere que este movimiento se realice en 0.5 segundos por lo cual la fuerza que tendrá que aplicar el cilindro es:

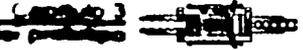
$$F_c - mg = ma \quad F_c = m(a + g)$$

Como la aceleración es constante

$$a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2(0.06)}{0.5^2} = 0.48 \frac{m}{s^2} \quad F_c = 2.9(0.48 + 9.81) = 29.84 N$$

Con estos datos y la presión de trabajo aplicando un factor de pérdidas del 30% se calcula el diámetro del émbolo:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{4F_c}{\pi D^2} \quad D = \sqrt{\frac{4F_c}{\pi P}} = \sqrt{\frac{4(29.84)}{3.1416(6 \times 10^5)(0.7)}} = 0.0095 m \approx 10 mm$$



Debido a que un cilindro con el diámetro calculado cuenta con un ~~vástago~~ de 3-4mm, el sistema podría fallar por pandeo o deformación plástica; además de que resulta difícil acoplar un cilindro tan pequeño con los demás sistemas. Por lo anterior se optó por seleccionar un cilindro más robusto que permita un acoplamiento sencillo y la posibilidad de montar las guías exteriores, que tienen la función de absorber el momento de giro del sistema de sujeción y mantener así la dirección adecuada del manipulador.

Las características del cilindro son las siguientes.

Carrera  $s = 60$  mm.

Diámetro del émbolo  $D = 30$ mm.

Diámetro del vástago  $d = 8$ mm.

Diámetro de las guías exteriores = 8mm.

La fuerza a la presión de 6 bar y con un coeficiente de pérdidas de 30% será.

$$F_{avance} = PA = P \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) = 297 N$$

$$F_{retroceso} = PA = P \left( \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \right) = 276 N$$

Como se puede ver este cilindro es capaz de ofrecer 10 veces la fuerza necesaria, por lo que el manipulador esta preparado para manejar productos más pesados.

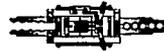
En la figura 3.10 se pueden observar las características generales del manipulador, así como su colocación respecto al disco y a las cajas. Obsérvese que el nivel de la base de la caja es tal que el manipulador coloca solamente la parte de la bahía del foco dentro de las rejillas, ya que al abrir las pinzas este caerá por acción de la gravedad dentro de las celdas correspondientes, por lo que no es necesario introducir todo el foco dentro de la caja. Dicha opción sería imposible con este diseño de pinza.

### 3.5.3 Posicionamiento

La función de este módulo es preparar el empaque para recibir el producto; en otras palabras, se encarga de posicionar las celdas vacías para ser llenadas y de retirarlas cuando esta tarea se ha llevado a cabo.

Debido a que esta labor es de gran relevancia para el buen funcionamiento de la máquina, es necesario ser muy cuidadosos en la selección del sistema ha diseñarse detalladamente. A continuación se presenta una pequeña matriz de decisión que ayudó a resolver este problema.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Se asignaron valores entre 0 y 10 para calificar cada parámetro evaluado (un valor alto indica una característica favorable), y se dio la mayor relevancia a la capacidad de posicionamiento del sistema propuesto.

	Posicionamiento 35%	Factibilidad 25%	Control 20%	Manufatura 15%	Costo 5%	Total
Arrastre con banda (motor)	4	8	5	7	9	59%
	La caja puede deslizar sobre la banda	Pocas restricciones para implementario	Necesidad detectar directamente la caja. Varios sensores. Solo se controla en un sentido el motor.	Fácil de construir	Barato	
Arrastre con lengüeta (motor)	9	6	7	5	7	71.5%
	La lengüeta evita deslizamientos, solo en la dirección de avance. Buena precisión	Algunas restricciones de espacios y elementos especiales	Se puede detectar la posición de la lengüeta con un solo sensor. El motor puede requerir de los dos sentidos y la lengüeta podría ser actuada.	Varios elementos por construir.	Bastante tiempo de manufactura.	
Arrastre con lengüeta (cilindro)	6	5	4	9	1	55.5%
	Problemas para detener el cilindro en la posición deseada. Necesidad de elementos adicionales	Bastantes elementos especiales	Difícil. Sensores especiales y etapas de control adicionales. La lengüeta necesita ser actuada.	Se reduce al montaje de piezas	Elementos especiales y costosos	

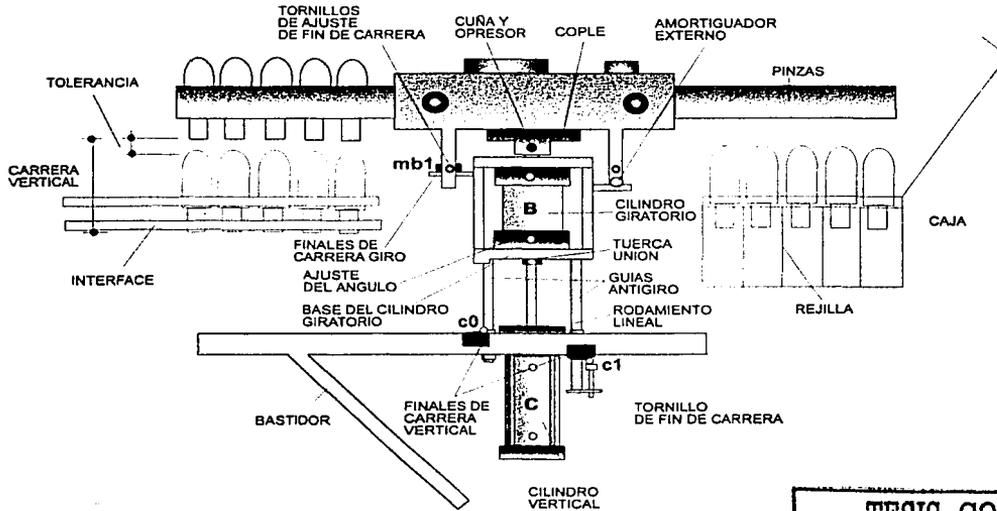
El mejor sistema resultó ser el de lengüeta y motor, el cual consiste en deslizar la caja sobre las guías principales, empujándolas con una lengüeta y asegurando que en todo momento ésta se encuentre en contacto con el empaque, de tal manera que la posición de la lengüeta nos indique indirectamente la posición de la caja.

Se decidió utilizar un sistema de actuador lineal de tornillo y tuerca, sobre la cual se montará una lengüeta guiada y retráctil actuada por medio de un mecanismo mediante un pequeño cilindro de doble efecto.

El primer paso para el diseño de este sistema fue la selección del tipo de motor a utilizar para mover el tornillo principal. Se requiere de un par aceptable a una velocidad relativamente alta y de una alta precisión en el posicionamiento del actuador. Los motores a pasos ofrecen una excelente capacidad de posicionamiento angular, sin embargo, poseen un bajo par y alcanzan velocidades bajas; si se coloca una transmisión con el fin de mejorar el par se perderá velocidad y si se quiere mejorar la velocidad el par se decrementará. Aunado a esto, este tipo de motores requieren de un controlador especial que ordene las etapas de encendido y apagado de las bobinas de una manera secuencial para lograr el movimiento requerido. Por otro lado, los motores de corriente directa de imanes permanentes entregan un mediano par a



velocidades altas, de tal manera que si se utiliza una transmisión para reducir la velocidad se conseguirá un buen par a una velocidad adecuada; el problema de este tipo de motores es que poseen una alta inercia y por lo tanto son difíciles de posicionar exactamente. Existen varios métodos para solucionar este problema. Uno de los más sencillos y que ofrece buenos resultados es acoplar en algún eje de la transmisión un sistema de frenado que se active en sincronía con la desactivación del motor, de tal manera que se mitiguen los efectos inerciales. Para nuestra aplicación hemos decidido utilizar este sistema.



vista lateral  
FIGURA 3.10

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Dado que disponemos de un par alto comparado con nuestras necesidades, nos ocuparemos solamente del cálculo del actuador lineal, atendiendo su velocidad. Se requiere que la caja avance 20 mm por cada vez que se coloque una columna de focos, por lo cual la velocidad de la lengüeta será de 0.04m/s:

$$1 \text{----} V_L = \omega_m \left( \frac{n}{N} \right) A_R \quad 2 \text{----} V = K_1 \omega_m \quad 3 \text{----} T = K_2 i$$

Donde

$V_L$  = velocidad requerida en la lengüeta = 20mm/s

$\omega_m$  = velocidad angular del motor en revoluciones por segundo [rev/s]

$n$  = número de dientes de la polea menor

$N$  = número de dientes de la polea mayor

$A_R$  = avance del tornillo = 2 mm/rev

$V$  = voltaje de armadura del motor en volts = 12 V



$T$  = Par en la flecha del motor.

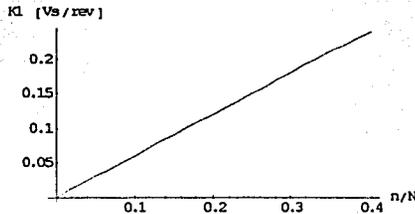
$K_1$  = constante de fuerza electromotriz del motor [Vs/rev]

$K_2$  = constante de par del motor en [Nm/A]

Sustituyendo 2 en 1 y despejando tenemos:  $K_1 = \frac{V}{V_L} \left( \frac{n}{N} \right) A_m$

Y sustituyendo valores se tiene  $K_1 = \frac{12}{40} \left( \frac{n}{N} \right) 2 = 0.6 \left( \frac{n}{N} \right)$

Si presentamos el resultado en forma de gráfica podemos seleccionar la relación entre poleas, adecuada para un motor de constante  $K_1$ .



En nuestro caso seleccionamos un motor con  $K_1 = 0.151$  Vs/rev y  $K_2 = 0.073$  Nm/A, para el cual se requiere una relación de reducción de  $(n/N) = 0.252$ , que puede ser aproximada con  $n = 23$  dientes y  $N = 91$  dientes.

El motor seleccionado es capaz de soportar una corriente de 1 amper en su armadura, con lo cual podemos calcular la potencia máxima teórica a la salida:

$$4 \dots P_{m_i} = T \omega_m \quad \text{sustituyendo 2 y 3} \quad P_{m_i} = \frac{K_2}{K_1} i V$$

$$\text{y para nuestro caso} \quad P_{m_i} = \frac{0.073}{0.151} (1)(12) = 5.8W$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con este dato se seleccionó un freno magnético de 10 W, el cual por razones geométricas será acoplado sobre el eje del tornillo principal. Si consideramos una eficiencia de 85% en el sistema de transmisión podemos decir que la potencia disponible para empujar la caja será de 5 W y si el peso de la caja más grande (30 focos) llena de producto es de 0.6 Kg, el coeficiente de fricción entre el microcorrugado del empaque y el aluminio es de 0.2, y la fuerza de fricción ocasionada por las paredes de los rieles y las guías sobre la caja  $f = 3.5N$ , la potencia requerida será de:

$$P_r = F V_L = (mg\mu_s + f) V_L = ((0.6)(9.81)(0.2) + 3.5) 0.04 = 0.2W$$



Lo cual nos indica que nuestro motor es apto para realizar esta tarea sin dañarse. Hay que recordar que una vez que la caja sea tomada por el módulo de expulsión la lengüeta debe regresar retráida para poder tomar la siguiente caja que ya estará en espera de recibir la primer columna de focos. El tiempo en el que la lengüeta regresa debe ser el menor posible, esto para prever la existencia de tiempos muertos en el proceso; este tiempo se puede reducir duplicando la velocidad del motor al regreso aplicando a su armadura un voltaje de 24 V; de esta manera el tiempo que tardará la lengüeta en regresar será de:

$$t = \frac{s}{2V_t} \quad \text{donde } s \text{ es la distancia total que recorre la lengüeta} = 0.16\text{m}$$

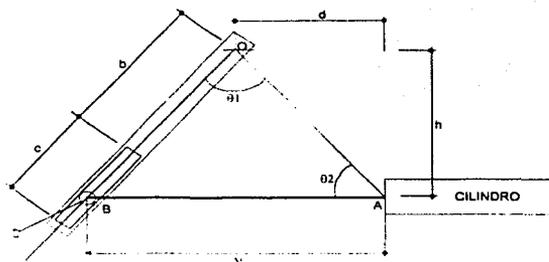
$$t = \frac{0.155}{2(0.04)} = 1.92\text{s}$$

Este tiempo nos asegura que no existirán tiempos muertos debido al regreso de la lengüeta.

Se colocaron 6 barreras ajustables que tienen el objetivo de interrumpir la señal de un sensor fotoeléctrico que se mueve junto con la lengüeta; esto con el fin de detectar cada una de las posiciones de la caja. También se instaló un final de carrera (Home) que indica cuando el recorrido de la lengüeta ha sido completado. Esto es muy útil para poder enviar a su posición inicial el sistema después de un fallo, o al inicio de cada ciclo.

El mecanismo encargado de sacar y meter la lengüeta está formado por un cilindro de doble efecto que al retraerse o extenderse ocasiona un movimiento angular en un eslabón con corredera, el cual se encuentra acoplado al eje de giro de la lengüeta. Sobre dicho eje se montó un rodamiento lineal que permite el libre deslizamiento de la lengüeta en la dirección del avance y que la restringe a girar junto con el eslabón del mecanismo gracias a una guía incluida en el cuerpo del eje. La tuerca del tornillo principal empuja el rodamiento mediante un acoplamiento (formado por un par de postes y una canal) que permite el giro del mismo.

Debido a que la fuerza necesaria para mover la lengüeta es muy pequeña se omiten los cálculos de la misma, y la selección del cilindro se realiza principalmente en función de su carrera. La síntesis del mecanismo se realizó como sigue:



Donde

- $c$  = longitud de la corredera
- $b$  = distancia del punto O al inicio de la corredera
- $D$  = diámetro del rodamiento
- $d$  = posición horizontal del cilindro
- $h$  = posición vertical del cilindro
- $\Delta l$  = carrera recorrida
- $l$  = carrera total
- $\theta_1$  = ángulo de giro de la lengüeta



Buscamos la relación de la carrera recorrida  $\Delta l$  con el ángulo  $\theta_1$  y con la posición  $h$ , para determinar la carrera total del cilindro y la colocación del mismo. También necesitamos conocer la relación entre  $\Delta l$  y la distancia  $OB$  para determinar la longitud de la corredera  $c$  y la distancia  $b$ , las cuales nos definirán las dimensiones de la barra.

De la ley de cosenos:

$$1\text{---- } OB = \sqrt{\Delta l^2 + OA^2 - 2\Delta l OA \cos \theta_2} \quad 2\text{---- } OA = \sqrt{h^2 + d^2} \quad 3\text{---- } \cos \theta_2 = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

si hacemos  $d=l/2$  para tener una configuración simétrica, sustituyendo 2 en 1 y simplificando:

$$4\text{---- } OB = \sqrt{\Delta l^2 - l\Delta l + \frac{l^2}{4} + h^2} \quad \text{que es una de las relaciones buscadas.}$$

Si ahora aplicamos la ley de senos:

$$5\text{---- } \frac{\text{sen } \theta_1}{\Delta l} = \frac{\text{sen } \theta_2}{OB} \quad 6\text{---- } \text{sen } \theta_2 = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}$$

sustituyendo 4 y 6 en 5 y despejando  $\theta_1$  tenemos:

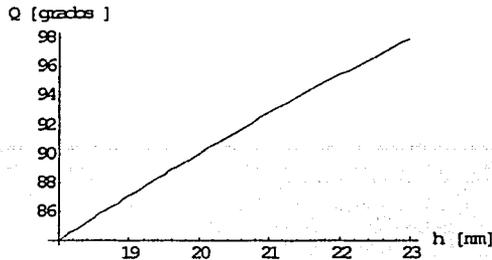
$$7\text{---- } \theta_1 = \text{ang sen } \frac{h\Delta l}{\left(h^2 + \frac{l^2}{4}\right)\left(\Delta l^2 - l\Delta l + \frac{l^2}{4} + h^2\right)} \quad \text{que es la otra relación buscada.}$$

Obsérvese que si hacemos  $\Delta l=0$ ,  $\theta_1$  será 0, éste es el ángulo de la lengüeta con el cilindro retraído, y si el cilindro está extendido  $\Delta l=l$  con lo que se tendrá la posición final de la lengüeta:  $\theta_{1f}$

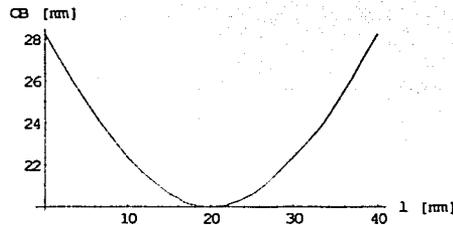
$$8\text{---- } \theta_{1f} = \text{ang sen } \frac{hl}{\left(h^2 + \frac{l^2}{4}\right)}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como podemos observar, la posición final de la lengüeta dependerá de la carrera total del cilindro y de la colocación del mismo. Si seleccionamos por razones de espacio y disponibilidad una carrera de  $l = 40$  mm, nos resulta  $h = 20$ . Con la finalidad de poder ajustar el mecanismo y, en su caso, cambiar el rango de giro de la lengüeta, se colocaron correderas que permiten variar la longitud  $h$  de 18 a 23 mm. La gráfica muestra el ángulo de giro que se puede conseguir cambiando  $h$  para un cilindro de carrera  $l=40$  mm.



Una vez seleccionadas la carrera y la posición del cilindro, podemos conocer los valores de  $c$  y  $b$  que definirán la barra. Sustituyendo los valores de  $l$  y  $h$  en la ecuación 4 y graficando tenemos la siguiente hipérbola:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tal y como se puede inferir de la ecuación 4, observamos que  $OB$  tiene un mínimo de valor  $h$  cuando  $\Delta l = l/2$ , lo cual cumple con la simetría que deseábamos; y un máximo de 28.3mm en  $\Delta l = l$  y  $\Delta l = 0$ . El recorrido de esta gráfica corresponde a la variación de la longitud  $OB$  para cada movimiento de la lengüeta y por tanto define el tamaño  $c$  de la corredera, el cual considerando el diámetro del rodamiento y una tolerancia que permita el ajuste del mecanismo, es:

$$c = (\max - \min) + D + Tol \quad \text{sustituyendo} \quad c = (28.3 - 20) + 7 + 4 = 19.3mm$$

y la distancia  $b$  será:

$$b = \min - \frac{(D + Tol)}{2} \quad \text{sustituyendo} \quad b = 20 - \frac{7 + 4}{2} = 14.4mm$$

El diámetro del émbolo del cilindro utilizado es de 12mm, y a la presión de trabajo con un coeficiente de pérdidas de 30% ofrece una fuerza promedio de 45N, la cual resulta más que suficiente para accionar el mecanismo.



En la figura 3.11 se muestran las características más importantes de este módulo.

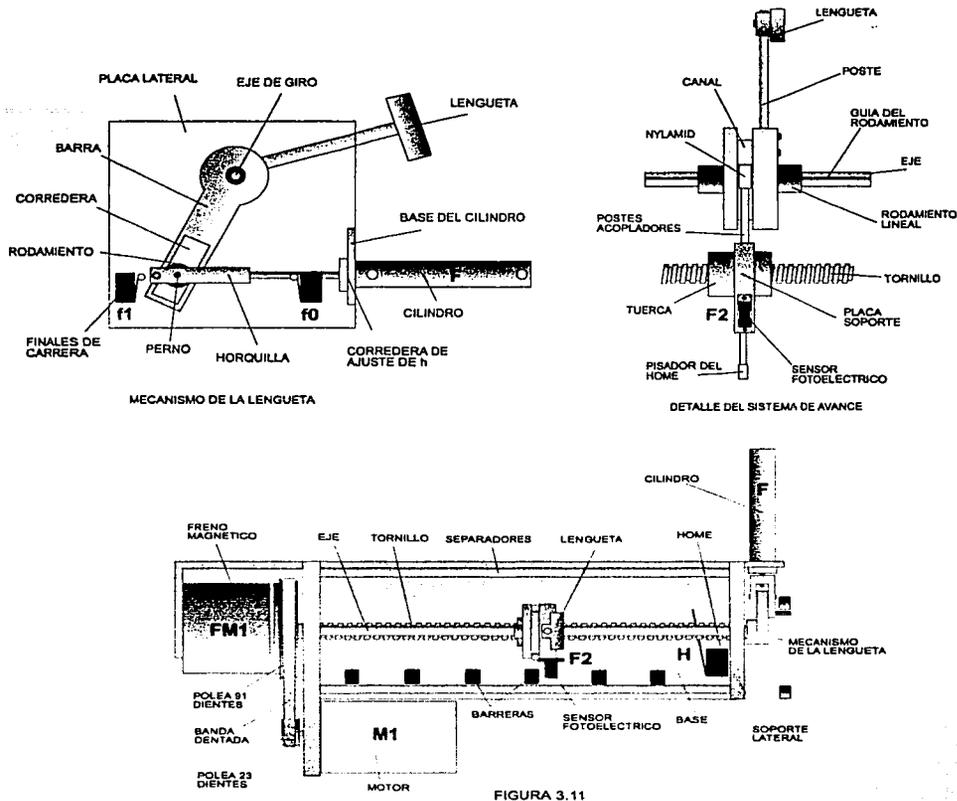


FIGURA 3.11

### 3.5.4 Alimentador

Se decidió realizar la alimentación de las cajas vacías por medio de un alimentador del tipo vertical, ya que estos ocupan poco espacio, funcionan bien, son fáciles de controlar y son menos costosos que otros sistemas.

Este módulo consta básicamente de dos depósitos verticales, y un expulsor. Cada depósito está construido especialmente para guiar verticalmente cada tipo de caja. Para lograr esto se



utilizó un perfil en forma de "T" con el fin de aprovechar dos de sus alas para guiar la caja y la restante para fijar el perfil a la estructura, permitiendo que los tornillos o remaches que ensamban la estructura no interrumpen el deslizamiento de las cajas. Gracias a su relación resistencia peso ayudan a disminuir la inercia del alimentador, lo cual es una prioridad debido a que éste sufrirá cambios de posición en tiempos cortos. Es importante que los empaques no se atoren en su trayectoria a través del alimentador, para lo cual se dejó una tolerancia de 1.5mm por cada lado de las cajas. Cada depósito tiene como base una placa ranurada, la cual tiene las siguientes funciones: detener las cajas a la altura de las guías principales, permitir la entrada del expulsor por la ranura y servir como base para la colocación de los sensores que detectarán la presencia de caja en cada uno de los depósitos.

Para lograr el cambio de presentación se instaló un par de guías que permiten el traslado de los depósitos, con lo cual es posible posicionar cada tipo de caja frente a las guías principales. Las guías que se utilizaron para lograr lo anterior constan de un rodamiento lineal que desliza sobre un eje, el cual es realmente quién soporta el peso del alimentador, y de una corredera auxiliar que evita la rotación del alimentador sobre dicho eje. La fuerza necesaria para trasladar los depósitos es despreciable, debido al que el tipo de guías antes mencionadas disminuyen en gran parte la fricción. Por tal motivo la selección del actuador se realizó atendiendo principalmente a su carrera. Se utilizó un cilindro de doble efecto con amortiguación en ambos lados, con el fin de reducir las vibraciones de la máquina al cambiar de presentación. La carrera de este actuador es de 160 mm, el diámetro del émbolo es de 20mm y el diámetro del vástago es de 5mm, por lo que a la presión de trabajo se dispone de un promedio de 150N de fuerza; más que suficientes para realizar la operación.

Para llevar las cajas desde el alimentador hasta las guías se utilizó una placa actuada por un cilindro de doble efecto y guiada por una corredera con rodamientos. Debido a que la caja que se alimenta es la que se encuentra en el fondo de los depósitos, es necesario que la placa que la expulsa no permita que baje otra caja, sino hasta que el expulsor haya regresado a su posición inicial. Esto se logró dotando de un respaldo liso a dicha placa, sobre el cual se apoyará la columna de empaques antes de descender un nivel. En la parte baja de las guías verticales que forman los depósitos se colocó la salida de las cajas con una altura de 20 mm mayor a la altura de las mismas, esto con el fin de evitar que la caja que se está sirviendo se atore contra la parte superior de la salida. La carrera del cilindro debe ser por lo menos 15 mm mayor a la longitud de la caja mayor para asegurar que está saldrá del alimentador y se quedará sobre las guías principales de la máquina. Se seleccionó una carrera de 160 mm. Para determinar el diámetro del cilindro se realizó el siguiente procedimiento:

$$F_f = mg(n\mu_s + (n-1)\mu_{sc}) + f_g + f_p \quad \text{sustituyendo} \quad F_f = 19N$$

Donde

$F_f$  = fuerza de fricción a vencer.

$n$  = número de cajas en el alimentador = 11.

$m$  = masa de las cajas = 0.3 Kg.

$\mu_s$  = coeficiente de fricción entre el cartón y el aluminio = 0.2.

$\mu_{sc}$  = coeficiente de fricción entre el cartón y el cartón = 0.23.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$f_g$  = fricción con las guías principales = 3.5N.  
 $f_p$  = fricción en las paredes del alimentador = 2N.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{4F_f}{\pi D^2} \quad \text{despejando } D \text{ y sustituyendo } D = \sqrt{\frac{4(19)}{3.1416(6 \times 10^5)(0.7)}} = 0.008m = 8mm$$

Debido a que un cilindro de este diámetro con una carrera de 160 mm puede sufrir pandeo en el vástago, se decidió utilizar un cilindro idéntico al de cambio de presentación, con un diámetro del émbolo de 20mm y amortiguamiento en ambos lados.

Las características principales del sistema de alimentación de cajas se muestran en la figura 3.12.

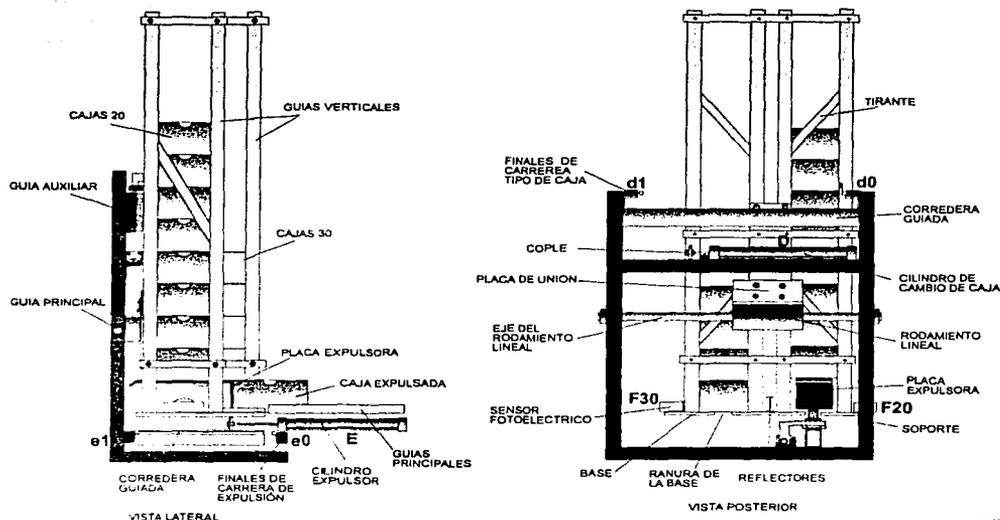


FIGURA 3.12

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.5.5 Abrir caja

Una vez que el alimentador a servido una caja vacía, el siguiente paso es destaparla y trasladarla hasta el sistema de posicionamiento. Para lo anterior fue necesario implementar una combinación de tres actuadores, lo cual dota de tres grados de libertad a esta estación, pues es necesario conocer la posición de cada uno de los actuadores para determinar el estado del arreglo. Además también se utilizó una copa de succión (ventosa) para levantar la tapa de las cajas.



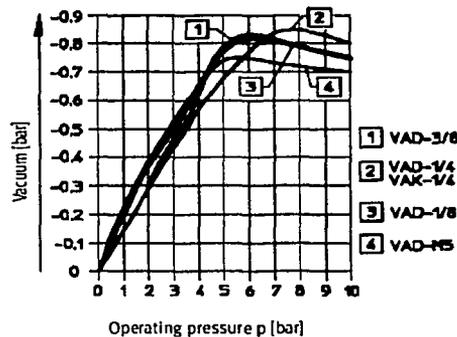
La función de cada uno de los actuadores antes mencionados es la siguiente:

Actuador 1 (J): se encarga de actuar el mecanismo de apertura de la tapa (mueve la ventosa).

Actuador 2 (G): coloca el eje de giro del mecanismo sobre el eje de giro de la tapa, apoya la cara posterior de la caja para evitar que rote junto con la tapa y sujeta la caja mediante una uña.

Actuador (K): traslada los dispositivos anteriores y la caja abierta hasta la siguiente estación, introduce la tapa en la guía para evitar que se cierre durante el proceso de llenado.

Comenzaremos el diseño de esta estación con la selección de la ventosa. La fuerza necesaria para levantar la tapa varía entre 1.5 y 3 N. Esto es debido a la diferencia de la presión ejercida por la pestaña de la caja. Para asegurar que el cartón se mantenga unido a la copa de succión, se dirá que está fuerza es de 10N. Se cuenta con un eyector VAD-1/8 cuya curva característica (vacío Vs presión) es la siguiente:



Se puede observar que el máximo vacío se logra a una presión de trabajo de 6 bar, y en nuestro caso es  $P_v = -0.83$  bar. Con este dato podemos seleccionar el tamaño de la copa de acuerdo a su diámetro efectivo de trabajo  $D_e$  como sigue:

$$P_v = \frac{F_s}{A} = \frac{4F_s}{\pi D_e^2}$$

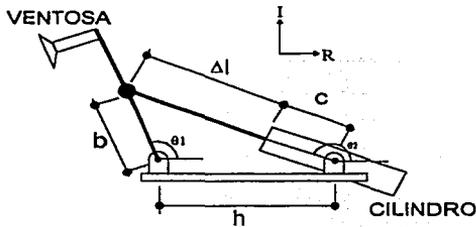
despejando y sustituyendo  $D_e = \sqrt{\frac{4F_s}{\pi P_v}} = \sqrt{\frac{4(-10)}{3.1416(-0.83 \times 10^5)}} = 0.012m = 12mm$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De acuerdo a este resultado, se seleccionó una ventosa plana de 20 mm de diámetro con un diámetro efectivo de 15 mm.



El siguiente paso es sintetizar el mecanismo de apertura de la caja, para lo cual nos basamos en el siguiente esquema:



Donde  
 $c$  = longitud necesaria para el montaje (tuerca, horquilla, clevis, etc.) = 40 mm  
 $b$  = longitud de la barra giratoria  
 $h$  = longitud de la barra fija  
 $\Delta l$  = carrera recorrida por el cilindro  
 $\theta_1$  = ángulo de giro de la ventosa  
 $\theta_2$  = ángulo de giro del cilindro

Se desea conocer las longitudes de la barra giratoria y de la barra fija que cumplan con las siguientes posiciones

$\Delta l$ [mm]	$\theta_1$ [°]
0	55
$l=38$	165

De la suma compleja

$$h + b = (\Delta l + c) \quad \text{y en la forma de Euler} \quad 1----- \quad he^{i\theta_1} + be^{i\theta_2} = (\Delta l + c)e^{i\theta_2}$$

Separando parte real y parte imaginaria tenemos:

$$R----- \quad -h + b \cos \theta_1 = (\Delta l + c) \cos \theta_2$$

$$I----- \quad b \sin \theta_1 = (\Delta l + c) \sin \theta_2$$

Elevando al cuadrado ambas ecuaciones y sumándolas

$$(b \cos \theta_1 - h)^2 + b^2 \sin^2 \theta_1 = (\Delta l + c)^2$$

Desarrollando el binomio y simplificando

$$2----- \quad b^2 - 2bh \cos \theta_1 + h^2 = (\Delta l + c)^2$$

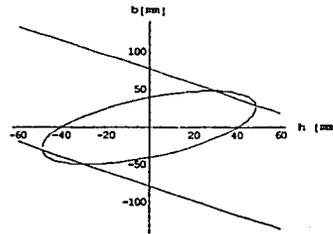
Sustituyendo los valores correspondientes de  $c$ ,  $\Delta l$  y  $\theta_1$  tenemos el siguiente sistema de ecuaciones con dos incógnitas:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



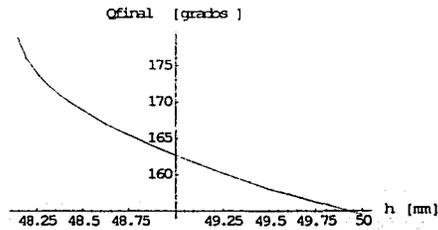
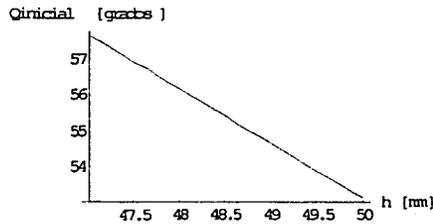
$$a----- \quad b^2 - 1.14715bh + h^2 = 1600$$

$$b----- \quad b^2 + 1.93185bh + h^2 = 6084$$

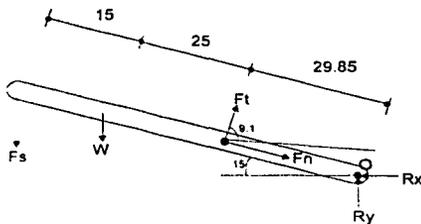


Como podemos observar, estas ecuaciones definen dos elipses rotadas que se intersecan en cuatro puntos, correspondientes a las soluciones del sistema. Por ventajas geométricas hemos escogido la siguiente solución:  $h = 48.77$  mm y  $b = 29.86$  mm.

Para poder realizar ajustes en el mecanismo se implementó una corredera que permite variar la distancia  $h$  desde 47 mm hasta 50 mm. Las gráficas siguientes muestran las posiciones  $\theta_i$  inicial y  $\theta_f$  final que se pueden obtener mediante este ajuste.



Para determinar el diámetro del émbolo necesario se calcula la fuerza requerida para comenzar a levantar el mecanismo, ya que es en esta posición donde se requerirá de la mayor fuerza. El siguiente esquema muestra el diagrama de cuerpo libre de la barra giratoria.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Como el momento de inercia del sistema es muy bajo ( $I_o \approx 0$ ) tenemos.

$$\sum M_o = 0$$

$$(69.85 F_s + 54.85 W) \cos 15^\circ - 29.85 F_t = 0$$



Sustituyendo y despejando  $F_r$ ,

$$F_r = \frac{(69.85 * 3 + 54.85 * 1.3) 0.966}{29.85} = 9.1 N$$

por lo que la fuerza máxima ejercida por el cilindro será:

$$F_c = \frac{9.1}{\cos 81^\circ} = 58.17 N$$

y el diámetro del émbolo para una presión de trabajo de 6 bar, con un coeficiente de 30% de pérdidas y un vástago de 3mm de diámetro, será:

$$D = \sqrt{\left(\frac{4F_c}{\pi P}\right) + d^2} = \sqrt{\left(\frac{4(58.17)}{3.1416(6 \times 10^5)(0.7)}\right) + 0.003^2} = 0.0136 m = 14 mm$$

Por lo que nuestro cilindro será de 38 mm de carrera y 14 mm de diámetro del émbolo.

La selección de los dos cilindros restantes se realizó atendiendo a su carrera y diámetro de vástago, pues estarán expuestos a cargas radiales. El actuador K tendrá que contar con amortiguamiento en ambos lados para evitar posibles vibraciones en la máquina. Ambos actuadores están provistos de guías externas que inhiben el giro del vástago y absorben las cargas radiales excesivas, lo cual es indispensable para lograr el funcionamiento del sistema. Las dimensiones de dichos actuadores son las siguientes:

Actuador G:  $D = 25$  mm,  $d = 8$  mm, carrera = 30 mm.

Actuador K:  $D = 30$  mm,  $d = 10$  mm, carrera = 130 mm.

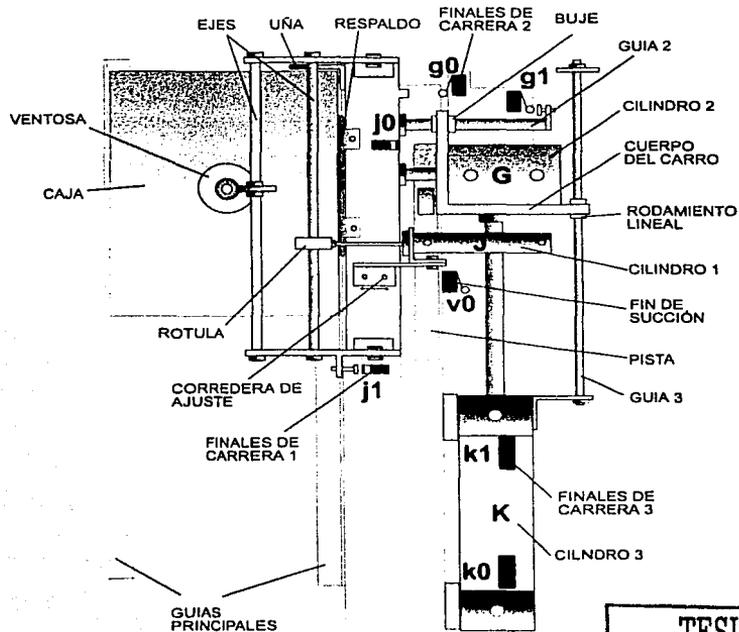
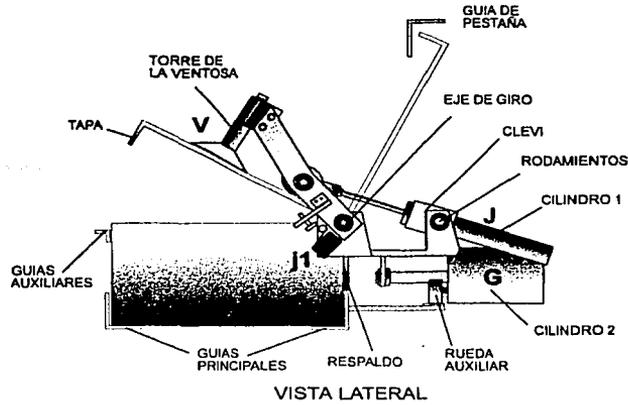
Otra parte importante de esta estación es la guía de la tapa, que se encarga (como ya se ha mencionado antes) de evitar que la caja se cierre mientras es llenada. Esta guía consiste en un perfil angular de aluminio soportado por un poste y con un corte en uno de los extremos; esto último para permitir la entrada de la pestaña dentro del perfil.

En la figura 3.13 se muestra la disposición de los elementos más importantes de este módulo.

### 3.5.6 Cerrar caja

Una vez que se ha terminado de llenar la caja, ésta es llevada por el módulo de expulsión hasta la estación de cerrado. Para cerrar la caja se utilizó un mecanismo similar al utilizado para abrirla, sólo que en este caso el mecanismo permanecerá fijo al bastidor de la máquina, lo cual proporciona al sistema con un solo grado de libertad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 3.13



El principal problema que presenta el cierre de la caja es insertar correctamente la pestaña. Para tal efecto se diseñó la barra giratoria de tal forma que obligue a la pestaña a colocarse en la posición correcta, para después ser insertada por medio de un cilindro de simple efecto. Lo anterior se logró gracias a que el eje de giro del mecanismo se colocó desplazado del eje de giro de la tapa. El éxito de este sistema depende de que el ángulo entre la pestaña y la tapa de la caja esté siempre en contacto con la placa giratoria. Para asegurar lo anterior se instaló una guía auxiliar.

Para la síntesis de este mecanismo nos apoyamos en el esquema del mecanismo de apertura. Para este caso  $c = 44$ , y las posiciones requeridas son:

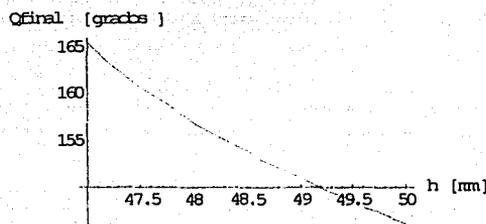
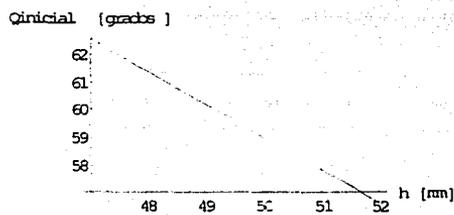
$\Delta l$ [mm]	$\theta_i$ [°]
0	60
$l=38$	150

Sustituyendo en la ecuación de síntesis tenemos:

$$a----- \quad b^2 - bh + h^2 = 1936$$

$$b----- \quad b^2 + 1.7320bh + h^2 = 6724$$

Resolviendo el sistema seleccionamos:  $b = 35.6$  mm y  $h = 49.2$  mm. Al igual que en el mecanismo de apertura, se instaló una corredera que permite ajustar el ángulo de giro variando la longitud  $h$  de 47 mm a 52 mm, los ángulos inicial y final que se pueden conseguir con esta variación se indican en las siguientes gráficas.



La longitud total de la barra giratoria desde el eje de giro hasta el ángulo del doblé es:

$$b_r \approx A_r + d_e = 138 \text{ mm}$$

Donde

$A_r$  = ancho de la tapa 108 mm

$d_e$  = distancia entre los ejes de giro = 30 mm.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Para actuar este mecanismo se utilizó un cilindro idéntico al utilizado en el mecanismo de apertura. Se instaló un pequeño cilindro de simple efecto con 10 mm de carrera para introducir la pestaña en la caja.

En la figura 3.14 se muestra esquemáticamente este módulo. La posición mostrada corresponde a unos instantes antes de que el mecanismo termine de bajar la tapa y de que el cilindro de simple efecto se extienda para terminar la operación.

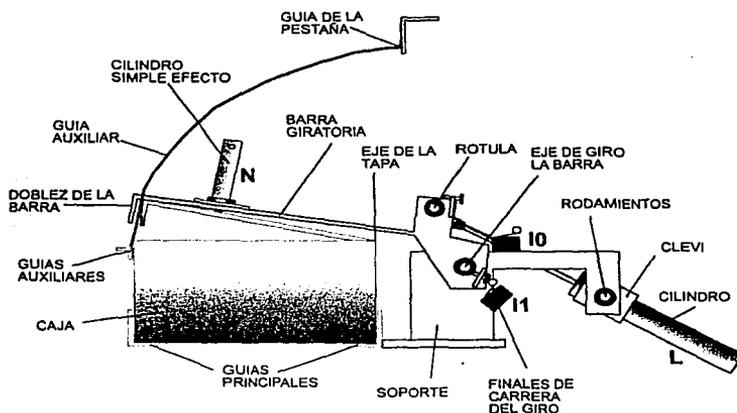


FIGURA 3.14

### 3.5.7 Expulsión

Para llevar la caja desde el módulo de posicionamiento hasta el módulo de cerrar tapa y después depositarla en la resbaladilla de salida, se decidió utilizar una uña retráctil que se traslada sobre un carro guiado, actuado por medio de una banda accionada mediante una transmisión y un motor de corriente directa. La ventaja de este tipo de accionamiento radica en que se pueden lograr tantas paradas como detectores de posición se coloquen, labor que sería demasiado complicada mediante el uso de cilindros tandem o unidades de desplazamiento, las cuales además necesitarían etapas de control adicionales y elementos especiales de alto costo.

Para retraer y extender la uña se utilizó un cilindro idéntico al utilizado para accionar las pinzas. Esta selección se debió exclusivamente a la carrera del cilindro y al hecho de que cuenta con guías antigiro, lo cual es vital para poder asegurar el buen funcionamiento de nuestra uña.



Se requiere que la caja avance a una velocidad de 0.2 m/s. Esta velocidad en términos del tipo de motor y de la transmisión viene dada por:

$$1----- V_L = 2\pi\omega_m R_R \left( \frac{D_p}{2} \right) \quad 2----- V = K_1 \omega_m \quad 3----- T = K_2 i$$

Donde

$V_L$  = velocidad del carro = 0.2 m/s

$\omega_m$  = velocidad angular del motor en revoluciones por segundo [rev/s]

$D_p$  = Diámetro de la polea = 0.03m

$R_R$  = relación de reducción del sinfin-corona

$V$  = voltaje de armadura del motor en volts = 12 V

$T$  = Par en la flecha del motor

$K_1$  = constante de fuerza electromotriz del motor en [Vs/rev]

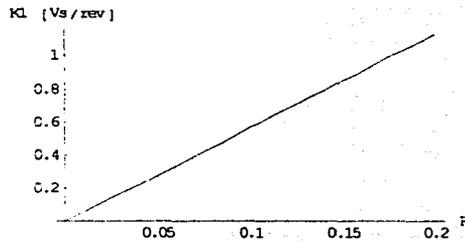
$K_2$  = constante de par del motor en [Nm/A]

Sustituyendo 2 en 1 y despejando tenemos: 
$$K_1 = \frac{2\pi V}{V_L} R_R \left( \frac{D_p}{2} \right)$$

sustituyendo valores se tiene

$$K_1 = 5.6548 R_R$$

Si presentamos el resultado en forma de gráfica podemos seleccionar la relación entre poleas adecuada para un motor de constante  $K_1$ .



En nuestro caso seleccionamos un motor con  $K_1 = 0.565$  Vs/rev y  $K_2 = 0.370$  Nm/A, mismo que requiere una relación de reducción de  $R_R = 0.1$ ; común en los reductores sinfin-corona de tamaño pequeño.

El motor seleccionado es capaz de soportar una corriente de 1.5 amper en su armadura. Con este valor podemos calcular la potencia máxima teórica a la salida a 12 V:

$$4----- P_{m_t} = T\omega_m \quad \text{sustituyendo 2 y 3} \quad P_{m_t} = \frac{K_2}{K_1} iV$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



y para nuestro caso 
$$P_{mi} = \frac{0.435}{0.565} (1.5)(12) = 13.86W$$

Con este dato se seleccionó un freno magnético de 15 W, el cual será acoplado sobre el eje del motor. Como se puede observar, el motor es más robusto que el seleccionado para el sistema de posicionamiento de la caja, lo cual asegura que será capaz de realizar su tarea con bajo consumo de corriente (0.3-0.4 A). El regreso del carro se deberá realizar en la mitad del tiempo de ida. Para lograrlo basta con aplicar 24V en las terminales del motor.

Para guiar el carro se utilizó un eje principal sobre el que desliza un rodamiento lineal y un eje auxiliar que evita el giro del carro sobre el eje principal. Para detectar la parada intermedia (estación de cierre de la tapa) se colocó un final de carrera mecánico, que es activado por una leva montado en el carro. Dicha leva debe contar con dos ángulos de ataque de 20%, esto para asegurar el correcto funcionamiento del sensor.

La mínima inclinación de la resbaladilla de salida, será de:  $\theta = \text{angtan}\mu_s = \text{angtan}0.2 = 11^\circ$

se colocará una inclinación de  $15^\circ$ - $20^\circ$  para asegurar que las cajas no se atoren o detengan en la resbaladilla. Las características principales de esta estación se pueden ver en la figura 3.15.

### Consumo de aire

Una vez seleccionados todos los actuadores y diseñada cada parte del proceso, estamos en condiciones de estimar el gasto de aire del prototipo. En la tabla siguiente se resumen las características de los actuadores neumáticos utilizados y se calcula el consumo de aire por ciclo (desde que entra la caja hasta que es expulsada) de cada uno de ellos. Para el cálculo del consumo se usó la siguiente expresión, la cual toma en cuenta la diferencia entre el volumen de la cámara anterior y posterior del cilindro, el volumen de la mangueras -el cual es considerable debido al tamaño de los actuadores-, el número de recorridos de ida y vuelta por ciclo y la corrección de la ley de Boyle (relación de compresión). El gasto del eyector de la ventosa (VAD-1/8) se extrajo de la gráfica característica proporcionada por el fabricante.

$$G = \left( \frac{\pi(2D^2 - d^2)}{4} + A \cdot s \right) \left( \frac{P_{atm} + P}{P_{atm}} \right) N$$

Donde

G = consumo de aire [m<sup>3</sup>/ciclo]

D = diámetro del émbolo [m<sup>3</sup>]

d = diámetro del vástago [m<sup>3</sup>]

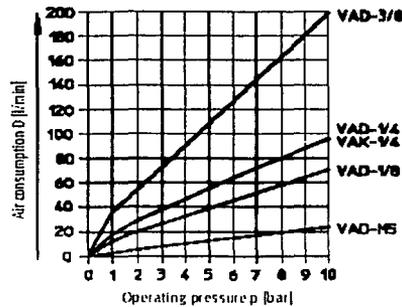
A = sección de la manguera [m<sup>2</sup>]

s = longitud de la manguera [m]

P<sub>atm</sub> = presión atmosférica [bar]

P = presión de trabajo [bar]

N = número de recorridos por ciclo.



CONSUMO DEL EYECTOR



Designación	Descripción		D [m]	d [m]	A [m <sup>2</sup> ]	s [m]	N [(ciclo)]	G [(m <sup>3</sup> /ciclo)]
A	Actuador de las pinzas	0.015	0.025	0.005	4.91E-06	0.50	3	0.02003
B	Cilindro giratorio del manipulador	0.040	0.035	0.020	4.91E-06	0.40	3	0.03347
C	Eje vertical del manipulador	0.060	0.030	0.008	1.26E-05	0.35	6	0.05681
D	Selección de presentación	0.160	0.020	0.005	1.26E-05	0.60	1	0.00427
E	Alimentación de cajas	0.160	0.020	0.005	1.26E-05	1.00	1	0.00430
F	Lengüeta de posicionamiento	0.040	0.012	0.003	4.91E-06	0.20	1	0.00152
G	Colocación del eje de la ventosa	0.030	0.025	0.008	4.91E-06	0.50	1	0.00646
J	Mecanismo de la ventosa	0.038	0.014	0.003	4.91E-06	0.60	1	0.00210
K	Traslado de la ventosa	0.130	0.030	0.010	1.26E-05	1.30	1	0.00935
L	Mecanismo de cierre de la tapa	0.038	0.014	0.003	1.26E-05	1.30	1	0.00220
N	Inserción de la pestaña	0.010	0.010	0.010	1.26E-05	0.40	1	0.00058
P	Uña de expulsión	0.015	0.025	0.005	4.91E-06	0.40	1	0.00667
Total								0.14776

La ventosa se activa una sola vez por ciclo durante un tiempo máximo de 1.5 segundos, por lo que el consumo en m<sup>3</sup>/ciclo es:

$$G_v = D t = 45 \left( \frac{1.5}{60} \right) (0.001) = 0.001125 \frac{m^3}{ciclo}$$

La velocidad óptima del sistema es de 3 ciclos por minuto (5400 piezas por hora), por lo que el consumo de aire por unidad de tiempo será:

$$G_{TOTAL} = 3(G + G_v) = 0.4467 \frac{m^3}{min} = 446.7 \frac{l}{min}$$

De acuerdo a las especificaciones, el gasto requerido es cercano a la mitad del disponible en la línea de alimentación neumática instalada en la planta. Hay que recordar que para cumplir con los requerimientos de producción se necesitan empaquetar solo 3000 piezas por hora, lo cual disminuirá el gasto del prototipo a 0.248 m<sup>3</sup>/min; o sea la cuarta parte del consumo disponible.

### 3.6 Otros aspectos de diseño

En el diseño mecánico es preciso considerar otros aspectos, que con frecuencia el diseñador poco experimentado olvida incluir en los primeros proyectos, posiblemente porque

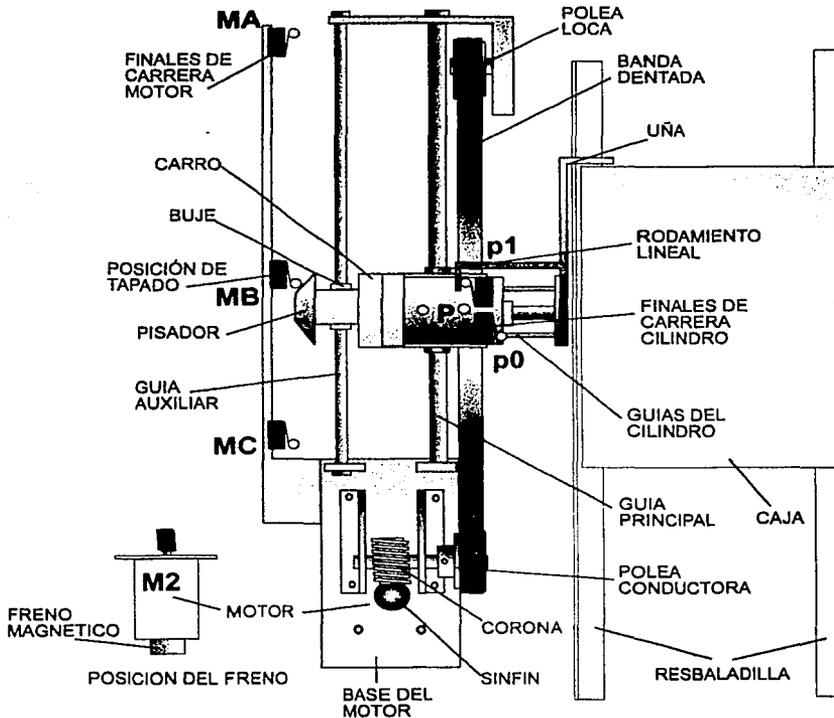


FIGURA 3.15

algunas de estas parcelas del diseño (tanto para el que se inicia en estas tareas, como para el experto profesional) se dejan para el final de todo el proceso.

Entre estos aspectos se incluye la seguridad funcional de la máquina, una faceta que alcanza cada vez más importancia. Sobre todo cuando las máquinas se encuentran integradas en una determinada cadena de producción, pues una avería puede ocasionar serios y graves problemas en el conjunto. La lubricación bien sea manual, semiautomática o automática, también es fundamental, ya que suaviza los movimientos, hace aumentar el rendimiento general de la máquina y alarga la vida de los mecanismos. Los armazones o bastidores son componentes que deben proyectarse al final, ya que deben soportar todos y cada uno de los mecanismos que componen la máquina. Lo mismo sucede con los pupitres o tableros de mando que deben diseñarse después de conocer todos y cada uno de los movimientos de la máquina, y después de haber decidido el tipo de mando y método de automatización que se desea.



El pintado de las máquinas forma también parte del diseño, ya que evita la corrosión y aporta estética. En lo que a manipulación, embalaje y transporte se refiere, es preciso también considerar esta faceta, ya que afecta a determinados detalles de la construcción, tanto del armazón para el transporte final, como de los componentes de mayor peso y volumen que deben ser transportados.

Y así podríamos seguir hablando de diversos detalles que deben tomarse en cuenta para el diseño total de una máquina. En los siguientes apartados se describen algunos de los aspectos que se tuvieron en mente para el diseño terminal del prototipo.

### 3.6.1 El bastidor

El armazón o bastidor de la máquina es el componente encargado de soportar todos y cada uno de los módulos y elementos que la componen. También debe ser capaz de soportar las cargas y vibraciones que se producen durante el proceso.

En la industria se han utilizado perfiles especiales de aluminio como el IPS para realizar los bastidores de las máquinas. Sin embargo, para nuestro prototipo se diseñó un bastidor basado en perfil tubular recto (PTR) de acero laminado; esto por la facilidad de ensamble mediante soldadura, por su buena resistencia y principalmente por su bajo costo en relación con el IPS de aluminio.

El bastidor consta principalmente de una base rectangular sobre la cual se desplantan dos columnas, cuya función es dar la altura adecuada a la máquina. También deben soportar los perfiles sobre los cuales serán montadas las distintas estaciones que componen el prototipo. Ambas columnas están situadas estratégicamente para asegurar que el centro de masa de la máquina se aloje lo más aproximado al centro del rectángulo base, para así asegurar una buena estabilidad. Para esta parte del bastidor se utilizó perfil de 1.5 pulgadas por lado y de espesor 2.5mm.

Sobre las dos columnas se montaron dos canales paralelos que alojan las guías principales por donde corren las cajas y que sirven de soporte a los módulos de apertura, cierre y expulsión.

El módulo de posicionamiento se encuentra soportado por un perfil situado en medio de las dos columnas y justo debajo de las guías principales. La interface y el manipulador están colocados sobre un cartabón que se apoya en las columnas y en el perfil antes mencionado. El alimentador de cajas está situado sobre un cartabón lateral apoyado en una de las columnas.

La parte trasera del bastidor (al lado contrario de la interface) se reservó para el montaje de los controladores y las borneras de conexión, para lo cual se instalaron perfiles que soportan los rieles DIN adecuados.



La parte baja del armazón se reservó para colocar los elementos neumáticos necesarios, como son: la unidad de mantenimiento, las válvulas, distribuidores, etc. En esta parte también se reservó un lugar para la alimentación eléctrica y las fuentes de voltaje necesarias para activar los elementos eléctricos y electrónicos con que cuenta el sistema.

Se colocó en el bastidor un poste lateral, sobre el cual se adaptaron el panel de mandos y la torre de alarmas.

Con el objeto de nivelar la máquina se colocaron 4 tornillos niveladores en cada esquina del rectángulo base. Adicionalmente se agregó un nivel visible de gota para facilitar la operación.

Para el transporte de la máquina se implementaron dos postes horizontales adicionales que sirven como asideras para ser transportada por dos personas. Para distancias largas dentro de la fábrica se diseñó un eje de ruedas desmontable, que permite transportar la máquina por una persona con un esfuerzo mínimo.

En la figura 3.16 se muestra esquemáticamente la construcción del armazón.

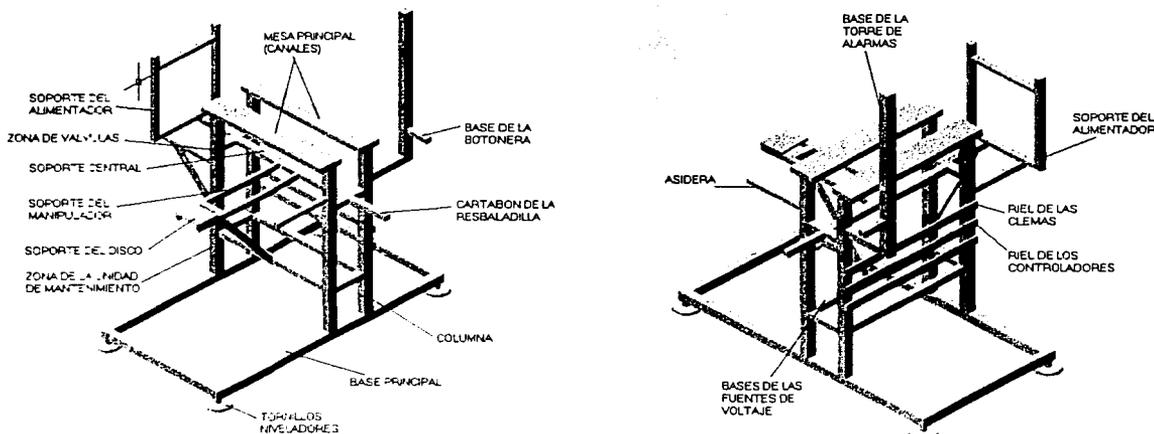


FIGURA 3.16

### 3.6.2 El panel de mandos

Debido al grado de automatización con que contará la máquina, el panel de mandos resulta sencillo. Solo existe la necesidad de instalar 4 botones, lo cual tiene la ventaja de ofrecer una operación muy sencilla para el usuario, sea un ingeniero, un técnico o cualquier persona. La función de cada uno de los botones será la siguiente:

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**Arranque:** pone en marcha la máquina realizando una rutina de inicio. Consta de un botón pulsador.

**Paro de proceso:** inhibe los movimientos en la máquina después de terminar el empaque que se está procesando. Consta de un botón pulsador.

**Selector:** ordena el tipo de caja que se desea procesar. Consta de un botón con dos posiciones angulares.

**Paro de emergencia:** inhibe todos los movimientos de la máquina, desactivando el suministro de corriente eléctrica y aire a presión. Consta de un botón con enclavamiento.

Para la selección y colocación de los botones en el panel se siguieron algunas reglas básicas: El botón del arranque debe ser verde y de un tamaño no muy grande, de preferencia debe ser iluminado y por ningún motivo debe quedarse enclavado. Se acostumbra que se encuentren asegurados mediante una llave o un candado. Su colocación no debe ser demasiado accesible. El botón de paro de proceso se coloca a un lado del de arranque. Debe ser rojo y de tamaño no muy grande. Se prefiere que los botones selectores sean del tipo angular y deben tener enclavamiento. Éstos se acostumbran colocar en espacios amplios. El botón de paro de emergencia debe ser de mayor tamaño, sensible a la presión, de un color rojo más llamativo que indique peligro. Debe situarse en un lugar accesible y lo más separado posible de otros botones, además de contar con enclavamiento fuerte. Todos los mandos deben contar con señalizaciones que indiquen claramente y en pocos términos su función.

También se instaló un contador que se incrementa cada que se termina de procesar un empaque. Esto resulta de gran ayuda para ordenar la producción y para dar mantenimiento a la máquina.

Es importante que el panel de mandos sea accesible y ergonómico. En el caso del prototipo se colocó apoyado sobre la torre de alarmas, y se dotó de dos perillas para poder regular el ángulo de los botones y la altura del panel.

En la figura 3.17 se muestra la disposición de los elementos que componen la botonera.



FIGURA 3.17

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### 3.6.3 La torre de alarmas

Debido al grado de automatización, en el cual se excluye la presencia de un operario durante todo el turno, es necesario que la máquina tenga un medio de comunicación con el personal de la planta, con el fin de que ésta indique su estado sin necesidad de ser revisada constantemente. Para lograr lo anterior existen métodos auditivos y visuales. En nuestro caso se decidió por un método visual, que consiste en un juego de luces de tres colores instaladas en lo alto de un poste, para asegurar así su fácil visualización desde cualquier punto de la planta. Se acostumbra colocar las luces una arriba de otra para logra una visualización totalmente radial. Sin embargo en nuestro caso se diseñó una torre del tipo horizontal que ofrece una buena comunicación con la planta. A continuación se describe la función y características de cada una de las lámparas que se instalaron.

*Verde:* indica que el proceso se está llevando a cabo satisfactoriamente; es el de menor intensidad luminosa.

*Verde parpadeando:* Avisa que se está llevando a cabo la rutina de inicio.

*Ámbar:* señala la detención del proceso por falta, ya sea de focos o cajas. Tiene una intensidad intermedia.

*Ámbar parpadeando:* indica una situación incorrecta en la máquina, como puede ser el mal funcionamiento de un sensor.

*Rojo:* indica que se ha presionado el botón de emergencia; es el de mayor intensidad luminosa.

*Rojo parpadeando:* el proceso se ha salido de control y el producto o la máquina pueden dañarse.

En la figura 3.18 se muestra la disposición de las luces en la torre de alarmas.

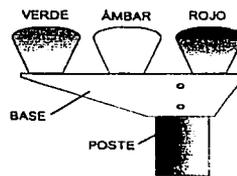


FIGURA 3.18

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.6.4 La seguridad funcional

Una de las especificaciones de la máquina se refiere a que debe tener un tiempo de vida que justifique la inversión realizada. Se llama vida útil de una máquina al tiempo total que puede funcionar bajo condiciones normales de uso, sin reducción esencial de las prestaciones básicas y con reparaciones durante todo ese tiempo de funcionamiento que se consideren económicamente admisibles. Los términos confiabilidad o fiabilidad se refieren a la seguridad



funcional o a la probabilidad de que una máquina o mecanismo funcione satisfactoriamente durante el tiempo de vida útil.

Las máquinas pueden fallar por dos motivos: por roturas o deformaciones plásticas de los elementos, o por desgaste de los elementos expuestos a rozamiento. La primera de las causas debe ser evitada mediante el diseño correcto de elementos sometidos a sollicitaciones. Sin embargo, la segunda causa es inevitable y es la que determina la vida útil de la máquina.

Debido a que no se cuenta con toda la información necesaria para el cálculo de la vida útil de cada elemento de la máquina, es difícil calcular una vida útil global de la misma.

En nuestro prototipo los elementos que condicionan el buen funcionamiento de la máquina son los carros deslizantes, el husillo de posicionamiento y su tuerca, las poleas, las bandas dentadas, los engranes, los cojinetes, los rodamientos, los frenos, los ejes guía, los empaques y camisas de los cilindros y válvulas, los platinos de los relevadores utilizados para el control, etc.

Como se puede ver existen una gran cantidad de elementos que determinan la vida útil del prototipo. Es imposible evitar el desgaste, pero se puede reducir si se utilizan los elementos adecuados. Por ejemplo, utilizar rodamientos lineales o en su defecto cojinetes en los elementos que deslizarán sobre guías. Los fabricantes de equipo se han preocupado por mejorar la vida útil de sus productos, lo cual se ve reflejado en una vida útil aceptable para las máquinas que integran dichos productos.

En el caso de nuestro prototipo se trató de evitar al máximo el desgaste y se utilizaron elementos de bajo costo y fácil adquisición para aquellos sistemas en los que la fricción es elevada. Como ejemplo puede citarse la tuerca del husillo de posicionamiento, hecha de Nylamid, y que puede ser conseguida en cualquier casa que distribuya este plástico.

Debido a que el prototipo no maneja cargas excesivas y a que la producción es relativamente baja como para asegurar un funcionamiento continuo, nos atrevemos a decir que el prototipo tiene una probabilidad alta de cumplir con el tiempo de vida útil requerido.

### 3.6.5 Mantenimiento

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El mantenimiento se puede dividir en tres partes: la lubricación, el reapriete de tornillos y el reemplazo de piezas.

*Lubricación:* el objeto esencial de la lubricación es reducir al máximo el desgaste por rozamiento y disminuir también el calentamiento en elementos de máquinas que se deslizan o ruedan entre sí. La lubricación suaviza el movimiento a la vez que alarga la vida de los componentes sometidos a desgaste, aumentando de paso el rendimiento global de la máquina. A continuación se presenta la ficha de lubricación del prototipo. Los tiempos se encuentran en ciclos, y se pueden cotejar con ayuda del contador del panel de mandos. También se puede

implementar mediante software un parpadeo de las tres alarmas cuando se necesite mantenimiento.

ÓRGANO	Unidad de mantenimiento		Guías del manipulador	Unidad del alimentador	Chumacera del disco	Husillo De avance	Guías del modulo de apertura	Guías del módulo de expulsión	Rodamientos de los mecanismos	Guías principales
Punto No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
símbolo										
Limpiar		6000	6000	10000		6000	6000	6000	20000	10000
Rellenar	3000									
Vaciar		3000								
Lubricar			2000	3000	10000	2000	2000	2000	6000	10000
Lubricante	CKB32		F20	G38	F20	F20	G38	G38	F20	TALCO

*Reapriete de tornillos:* Debido a las vibraciones y a los movimientos pueden aflojarse algunos tornillos. Es difícil que esto pase en el prototipo porque se manejan cargas y velocidades pequeñas. Sin embargo es recomendable realizar una rutina de apriete que no llevará más de 20 minutos cada mil ciclos de trabajo. Para facilitar lo anterior se colocaron solo tres tipos de tornillos, por lo que solo será necesario un desarmador de puntas múltiples, o en su defecto un desarmador plano y las llaves allen de 3/16 pulg y 5/32 pulg. Debido a que el par de apriete en las uniones no es de gran relevancia (están demasiado sobredimensionadas para las cargas que soportarán), éste se deja a la experiencia del técnico de mantenimiento.

*Reemplazo de piezas:* Cuando el técnico en mantenimiento detecte demasiada holgura en algún rodamiento, demasiado desgaste en las guías, tuerca del husillo y cilindros, fugas en los empaques de las válvulas, obstrucciones en las mangueras, fallo de las luces de alarma, etc., será necesario reemplazar la pieza. Se aconseja tener en el taller de mantenimiento repuestos de las piezas más susceptibles a desgaste y fallo, como son la tuerca de Nylamid, los cojinetes, empaques, relevadores, etc.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.6.6 Seguridad: prevención intrínseca y protección

La prevención intrínseca tiene por objeto reducir al máximo el riesgo de las personas al manipular las máquinas. Al diseñar se deben considerar determinadas características que debe reunir la máquina y las piezas que la componen para evitar y limitar el acceso del operario a zonas peligrosas. Para ello, y desde que se comienza el proyecto, se debe evitar en las piezas, entre otros y en la medida de lo posible, aristas cortantes, fuentes de alimentación energética



que entrañen peligro, sistemas inseguros de mando, riesgos de explosión, de incendio y los derivados de la carga y descarga de materiales en la máquina.

Se denomina protección a las medidas de seguridad encaminadas al empleo de medios técnicos específicos llamados resguardos y dispositivos de protección, con el objeto de salvaguardar a las personas contra cierto tipo de riesgos donde la prevención intrínseca es insuficiente. El resguardo es un dispositivo empleado para garantizar la seguridad mediante el uso de barreras materiales tales como carcazas, cubiertas, pantallas, envolventes, puertas, etc. Los dispositivos de protección son elementos que pueden ir o no asociados a los resguardos como son los dispositivos de enclavamiento, mando a dos manos, etc.

Además de lo anterior, se deben colocar señales y placas de advertencia, claras, vistosas y normalizadas, en los dispositivos que así lo ameriten.

### 3.6.7 Estética

La estética en las máquinas resulta de relevante importancia. Se deben diseñar los elementos con determinadas formas que no afecten la funcionalidad y que resulten agradables a la vista. La pintura debe ir acorde con el tipo de máquina, la época y la planta en que se instalará. Por difícil que parezca, un diseño estético se puede traducir en mejor ambiente de trabajo, presencia de la empresa, prestigio del diseñador y mayor competitividad en el mercado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## CAPÍTULO 4

### Automatización y control del prototipo

La automatización del prototipo ha comenzado desde los primeros pasos del diseño del mismo, ya que desde el momento en que se toma la decisión de diseñar una máquina automática no debe perderse de vista este fin. De esta manera el proyectista no solo debe atender al diseño de la parte mecánica, sino que también debe tomar en cuenta las posibles soluciones que pueden ofrecer los sistemas electrónicos y computacionales, las cuales suelen resultar más eficientes que la sola aplicación de elementos mecánicos.

En el capítulo anterior se describen los sistemas mecánicos que han de conformar el prototipo. Sin embargo se ha hablado, tal vez sin recalcar su importancia para la automatización, de sistemas de actuación, de colocación y selección de sensores, de el panel de mandos, de espacios para cableado y sistemas de control, de procesamiento de información y toma de decisiones por medio de software, etc. En este capítulo se describirán a detalle los elementos electrónicos y de computación que se utilizaron para el diseño del prototipo, el cual por las consideraciones anteriores, pertenece realmente al diseño mecatrónico.

Todo sistema automatizado comprende dos partes:

- Una parte operativa cuyos accionadores actúan sobre el sistema automatizado.
- Una parte de mando que coordina las acciones de la Parte de Operativa.

La figura 4.1 esquematiza la organización de la Parte de Mando respecto a la Parte operativa.

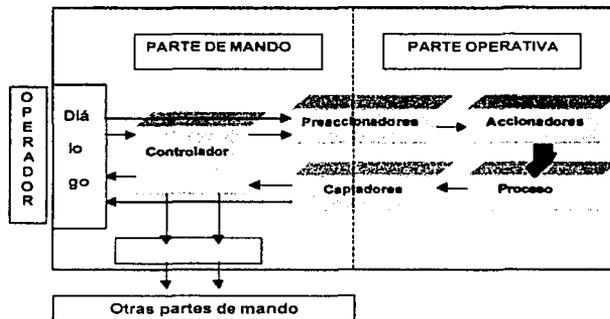


FIGURA 4.1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para el control del proceso de embalaje se decidió utilizar un controlador lógico programable (PLC), el cual se encargará de procesar la información proveniente de los diferentes dispositivos de entrada (captadores), para después determinar los estados de los dispositivos de salida (preaccionadores y accionadores).



En los siguientes apartados se describirán los dispositivos de entrada y salida, atendiendo principalmente a su acondicionamiento para ser acoplados con el controlador y las fuentes de voltaje. Después se tratará la selección del PLC y la programación del mismo, para finalmente detallar la instalación del equipo en el prototipo.

#### 4.1 Dispositivos de entrada

Los dispositivos de entrada (captadores, sensores, etc.) se encargan de recopilar la información necesaria para determinar el estado de la máquina, así como también del proceso que se está llevando a cabo. Esta información es comunicada al PLC por medio de señales eléctricas, las cuales deben acondicionarse (Voltaje, Amperaje y Frecuencia) con el fin de ser compatibles con el tipo de señales que puede recibir el controlador.

Como se puede observar en las figuras del capítulo 3, en el prototipo se utilizan diversos tipos de captadores, que van desde interruptores de presencia hasta sensores fotoeléctricos.

Para la detección de las posiciones inicial y final de los mecanismos actuados mediante cilindros neumáticos se instalaron interruptores de contacto mecánico, a excepción del cilindro K, en el que se instalaron detectores magnéticos en el cuerpo del mismo. Se decidió utilizar este tipo de interruptores por su capacidad de manejar un amplio rango de voltajes, y un amperaje adecuado tanto en CD como en AC (contactan mediante platinos), además de su bajo costo, tamaño reducido, alta confiabilidad y fácil adquisición en el mercado.

La colocación de estos interruptores es de gran importancia para el buen funcionamiento del proceso, ya que deben colocarse de tal forma que la información que envíen al controlador corresponda realmente al hecho que se desea monitorear en el proceso. Por ejemplo, para detectar si la tapa de la caja ha sido levantada, el interruptor debe colocarse de tal manera que sea la misma tapa la encargada de activarlo, ya que si se colocara en cualquier otra posición podría tenerse una información incorrecta debido a situaciones imprevistas, como puede ser para este ejemplo, que la ventosa no hubiese levantado la tapa cuando el mecanismo -y por tanto el interruptor- hayan sido activados. Otro aspecto importante es la capacidad de regular la posición de los sensores, lo cual se logra mediante correderas o guías. Éstas ayudan a ajustar la posición en la que se desea enviar la señal de entrada. Para facilitar su colocación y asegurar su buen funcionamiento se utilizaron tres tipos de interruptores: palanca corta, palanca larga y palanca con rodillo; los dos primeros se utilizaron para detectar movimientos en un solo sentido (fin e inicio de carrera) y el último para movimientos en ambos sentidos (carreras intermedias). Los tres tipos cuentan con la opción de "normalmente cerrado" y "normalmente abierto". En la figura 4.2 se muestran las características más importantes de los interruptores utilizados. La colocación correcta de éstos y de los demás sensores utilizados en el prototipo se indica en las figuras del capítulo 3.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

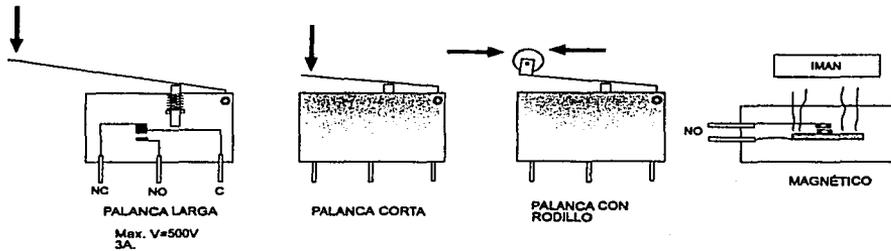


FIGURA 4.2

Para detectar de la presencia de los focos se utilizó un sensor inductivo, el cual tiene un alcance de 3.5 mm para el estaño, que es el material que se detectará. Este sensor puede manejar tanto corriente alterna como directa y puede admitir una corriente de 1 amperre. Se instaló de tal manera que se puede variar su altura alejándolo o acercándolo de la bahía de los focos.

La existencia de cajas en los depósitos de los alimentadores se verificó mediante dos sensores fotoeléctricos, los cuales se complementan con un reflector instalado entre las cajas y el sensor. Es importante colocar estos sensores lo más cercanos a la base del depósito posible, con el fin de detectar la caja en el instante en que ésta esté lista para ser expulsada del alimentador. Es necesario energizar estos sensores con 115 VAC, y no se necesita acondicionar su salida ya que está a relevador.

Para determinar la posición del disco y la de la lengüeta de posicionamiento se utilizaron pequeños sensores fotoeléctricos que tienen el emisor frente al receptor, y por tanto no necesitan de un reflector adicional. Debido a que la salida de estos sensores es de 5V a muy bajo amperaje fue necesario acondicionarla, para lo cual se utilizó un transistor (NPN) operando como interruptor, con el fin de accionar un relevador. De esta manera se pudo acoplar la salida de el sensor a cualquier tipo de PLC. A continuación se muestra el procedimiento que se realizó para el diseño de este circuito, y en la figura 4.3 se muestra el diagrama esquemático del mismo.

El primer paso es determinar el valor de la resistencia ( $R_B$ ) necesaria para llevar el transistor a su estado ON cuando el sensor mande la señal de entrada a la base del transistor:

Datos

$R_C =$  resistencia de la bobina del relevador =  $70\Omega$

$V =$  voltaje de la bobina del relevador = 5V

$V_{IN} =$  voltaje de la señal de entrada = 5V

$V_{CE} =$  voltaje entre el colector y el emisor

$V_{BE} =$  voltaje entre la base y el emisor

$R_E =$  resistencia limitadora de la corriente de entrada

$\beta = 100$  constante del transistor utilizado (BC549)

$$I_{B} = \frac{V_{IN} - V_{BE}}{R_E + R_C} \beta R_C$$



Para que el transistor opere en ON,  $V_{BE} = V_{BEON} = 0.7V$  y  $V_{CE} = 0$ , sustituyendo datos en 1 tenemos:

$$R_B = \frac{5 - 0.7}{5 - 0} (100)(70) = 6020\Omega \approx 6k\Omega$$

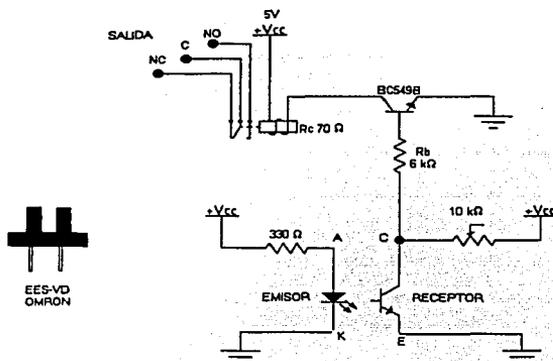


FIGURA 4.3

Una vez seleccionados y acondicionados los dispositivos de entrada podemos listarlos en la siguiente tabla.

MODULO 1 (PLC 1)				
Entrada	Símbolo	Descripción	Tipo	Tipo salida
I:0/0	c1	Manipulador arriba	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/1	c0	Manipulador abajo	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/2	MB1	Motor paletas en posición inicial	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/3	MB0	Motor paletas en posición final	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/4	a1	Pinza con focos sobre la caja	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/5	a0	Gripper abierto sobre el disco	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/6	IND	Hay foco	Inductivo (NO)	Relevador
I:0/7	Foto1	Disco en posición	Fotoeléctrico (NO)	Relevador
I:0/8	H	Home (Caja llena)	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/9	F2	Fotoeléctrico de avance	Fotoeléctrico (NO)	Relevador
I:0/10	k0	Caja lista para llenar	Magnético (NO)	Contactos
I:0/11	f1	Lengüeta abajo	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/12	d0	Cajas de 30 focos	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/13	d1	Cajas de 20 focos	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/14	e1	Expulsor retraído	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/15	e0	Expulsor fuera	Interruptor (NO)	Contactos
I:0/16	F20	Presencia de caja de 20 focos	Fotoeléctrico (NO)	Relevador
I:0/17	F30	Presencia de caja de 30 focos	Fotoeléctrico (NO)	Relevador
I:0/18	SELEC	Selector de cajas 1=cajas 30	Botón selector	Contactos
I:0/19	CC	Permisivo para sacar caja	Salida del PLC2 (NO)	Relevador



MODULO 2 (PLC 2)				
Entrada	Símbolo	Descripción	Tipo	Tipo salida
I:0/0	PARO	Paro de proceso	Botón pulsador (NC)	Contactos
I:0/1	ARRANQUE	Arranque del proceso	Botón pulsador (NO)	Contactos
I:0/2	F2	Fotoeléctrico de avance	Fotoeléctrico (NO)	Relevador
I:0/3	V0	Cortador de ventosa (tapa abierta)	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/4	g0	Eje apertura retraído	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/5	g1	Eje apertura listo	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/6	j1	Ventosa abajo	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/7	j0	Ventosa arriba	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/8	k0	Caja lista para llenar	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/9	k1	Carro recibe caja	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/10	l0	Cerrador arriba	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/11	l1	Cerrador abajo	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/12	p0	Uña expulsora retraída	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/13	p1	Uña expulsora extendida	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/14	MB	Expulsor en posición de cierre	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/15	MA	Expulsor en posición inicial	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/16	MC	Expulsor en posición final (caja expulsada)	Interruptor(NO)	Contactos
I:0/17	CA	Comunicación del PLC1	Salida del PLC1(N0)	Relevador
I:0/18	CB	Permisivo para expulsar caja llena	Salida del PLC1(N0)	Relevador
I:0/19	H	Home (caja llena)	Interruptor(NO)	Contactos

## 4.2 Dispositivos de salida

Los dispositivos de salida son todos aquellos actuadores y preactuadores que se encargan de activar los cilindros, motores, mecanismos y todos los sistemas que realizan alguna parte del proceso de acuerdo a las señales que reciben del controlador o directamente del operario.

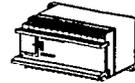
Los preactuadores son los elementos que sirven para acondicionar y/o convertir las señales del PLC o de los dispositivos de entrada para poder activar un actuador. Entre los preactuadores más comunes tenemos: relevadores, contactores, transistores (Triacs, FETS, SCR, etc.), drivers, controladores externos y válvulas (solenoides). Resulta importante conocer el voltaje, amperaje y tipo de señal que se necesitan para accionar un actuador, con el fin de determinar si se ocupará un preactuador o se puede acoplar directamente al PLC.

Es recomendable no conectar al PLC elementos que demanden corrientes mayores a 1<sup>a</sup>, con el fin de no dañar los dispositivos internos que lo componen; también se recomienda proteger las salidas del controlador con supresores de sobretensión. Este método se describe en el siguiente apartado.

### 4.2.1 Supresores de sobretensión

La mayoría de los controladores tienen supresión de sobretensión incorporada para reducir los efectos de los fenómenos transitorios de alto voltaje. Sin embargo es recomendable usar un

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



dispositivo de supresión adicional en caso de usar un módulo de salida para controlar un dispositivo inductivo, tal como: relevadores, arrancadores de motor, solenoides y motores.

La supresión adicional es especialmente importante si el dispositivo inductivo está instalado en serie o en paralelo con un contacto físico, tal como botones pulsadores y conmutadores selectores. Al añadir un dispositivo de supresión directamente a través de la bobina de un dispositivo inductor se reducirán los efectos de los fenómenos transitorios de voltaje causados por la interrupción de corriente a ese dispositivo inductivo, y prolongará la vida útil de los contactos del interruptor. También se evitará la radiación del ruido eléctrico al sistema de cableado. La figura 4.4a muestra una salida con un dispositivo de supresión.

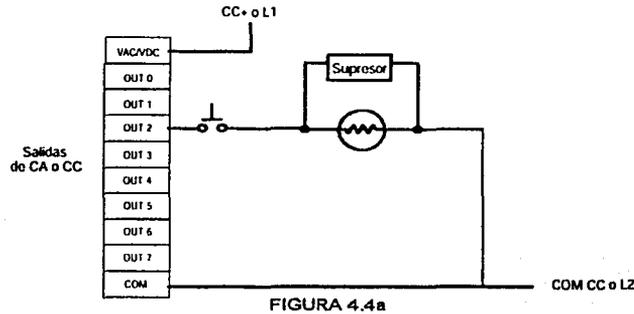


FIGURA 4.4a

Si la salida del controlador es del tipo triac se utilizan varistores para la supresión del ruido. Si se trata de una salida FET se pueden utilizar diodos IN4004 para la supresión de sobretensión. Si la salida es a relevador se recomienda utilizar un supresor de sobretensión que consta de un capacitor en serie con una resistencia. El conmutar cargas de salida sin supresión de sobretensión puede reducirse *significativamente* la vida útil de los contactos del relevador. La figura 4.4b muestra el uso de dispositivos de supresión de sobretensión.

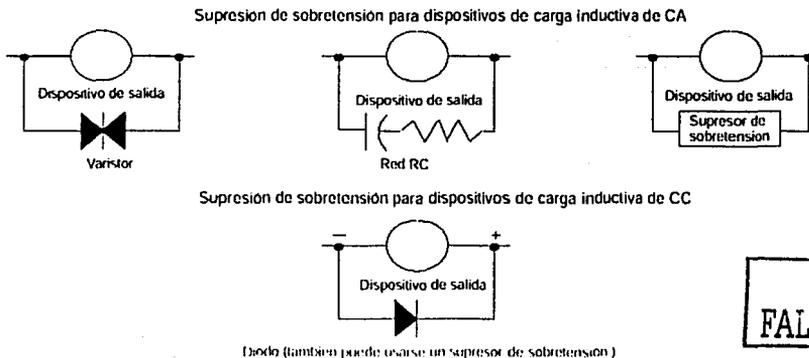
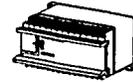


FIGURA 4.4b

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



#### 4.2.2 Acondicionamiento de las salidas

El control de la posición de los cilindros neumáticos que se utilizaron en el prototipo se realiza mediante electroválvulas direccionales y la velocidad es regulada mediante válvulas de estrangulación y antirretorno.

Se instaló un bloque de electroválvulas direccionales que consta de siete válvulas, cinco vías dos posiciones (5/2), una de las cuales es de doble pilotaje. El voltaje de trabajo de los solenoides que activan las válvulas es de 24VAC 60Hz y tienen un consumo de 15 W, lo cual según la ley de OHM demanda una corriente de 0.6 A, que es menor a 1A. Por lo mismo pueden ser acoplados directamente a las salidas del PLC sin la necesidad de un preactuador y utilizando un supresor de sobretensión del tipo resistencia-capacitor.

Para controlar los cilindros restantes y el eyector de la ventosa se instalaron seis electroválvulas individuales; cuatro de ellas del tipo 4/2 y las dos restantes del tipo 3/2, que son las que se utilizaron en el control del cilindro de simple efecto y el eyector. Estas válvulas también pueden ser conectadas directamente al PLC, y sus datos se resumen en la tabla del final de este apartado.

Las luces de alarma tienen un consumo de 10W a 115 VAC con una corriente aproximada a 0.1A, por lo cual también se acoplarán directamente al PLC.

Los motores de DC (M1 y M2) que se utilizaron para la estación de posicionamiento y la de expulsión consumen corrientes que pueden ser soportadas por las salidas del PLC. Sin embargo se necesita que sean capaces de cambiar su dirección, su velocidad y frenar, lo cual consumiría demasiadas salidas del controlador. Es por eso que se decidió diseñar un driver externo para el control de estos motores.

Dicho driver está basado en el uso de dos relevadores de dos polos dos tiros. El primer relevador se encarga de intercambiar los polos (polaridad) y los voltajes del motor, de manera tal que cuando éste avance, lo haga utilizando la fuente de alimentación de 12VDC y retroceda rápidamente utilizando la fuente de 24 VDC. El segundo relevador tiene como función desconectar el motor, al mismo tiempo que se activa el freno magnético. Gracias a este arreglo de relevadores solo se ocupan dos salidas del PLC. El diagrama esquemático de este driver se muestra en la figura 4.5 y su tabla de estado se presenta a continuación.

OUT A (Rele 1)	OUT B (Rele 2)	Motor	Freno
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	Avanza (12V)	0
1	1	Retrocede (24V)	0

0 = desactivado  
1 = activado

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

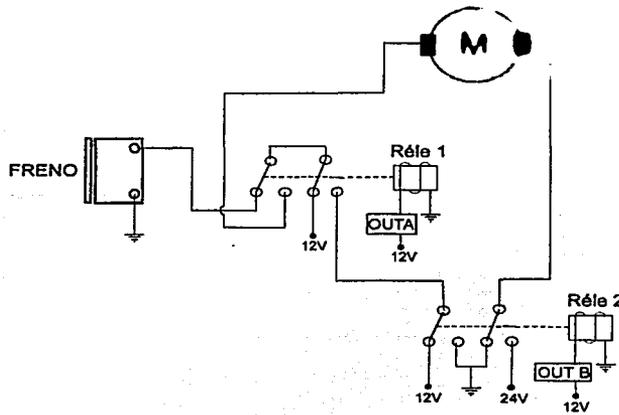


FIGURA 4.5

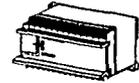
Para el control del motor de pasos que acciona el disco alimentador de focos se necesitarían 4 salidas del PLC a transistor. Con el propósito de evitar lo anterior se diseñó un driver externo para controlar el motor de pasos. Dicho controlador está basado en un circuito secuencial de una entrada, implementado con flip-flops JK (74LS73), un pulso de reloj (555) y un puente H de transistores como etapa de potencia. Gracias a este controlador solo se necesita una salida del PLC para mover el motor de pasos. La tabla siguiente muestra el estado del motor de acuerdo al estado de la salida del PLC.

OUT X (PLC)	Motor
0	1
1	0

La secuencia a pasos completos con que se deben energizar las bobinas de el motor unipolar es la siguiente:

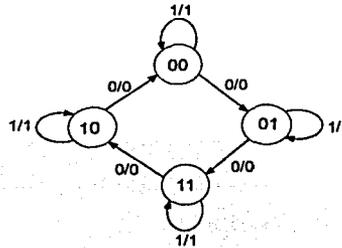
PASO	A	B	A'	B'
I	0	0	1	1
II	0	1	1	0
III	1	1	0	0
IV	1	0	0	1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Dado que se utilizará una flip-flop JK, pondremos atención únicamente a las señales A y B, y bastará con negarlas para obtener A' y B'. El diseño del circuito secuencial se realizó como sigue:

Realizando el diagrama de flujo, donde x/y son la entrada y la salida respectivamente, tenemos:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La tabla de verdad para flip-flops JK correspondiente al diagrama es

t		t+1			
A	B	X	A	B	Y
0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1

J <sub>A</sub>	K <sub>A</sub>	J <sub>B</sub>	K <sub>B</sub>
0	*	1	*
0	*	0	*
1	*	*	0
0	*	*	0
*	1	0	*
*	0	0	*
*	0	*	1
*	0	*	0

Encontrando la mínima función de Boole por medio de mapas de Karnaugh

J <sub>A</sub>		B'		B	
		00	01	11	10
A'	0	0	0	0	1
A	1	*	*	*	*
		x'		x	x'

$$J_A = BX'$$

K <sub>A</sub>		B'		B	
		00	01	11	10
A'	0	*	*	*	*
A	1	1	0	0	0
		x'		x	x'

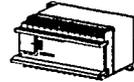
$$K_A = B'X'$$

J <sub>B</sub>		B'		B	
		00	01	11	10
A'	0	1	0	*	*
A	1	0	0	*	*
		x'		x	x'

$$J_B = B'X'A'$$

K <sub>B</sub>		B'		B	
		00	01	11	10
A'	0	*	*	0	0
A	1	*	*	0	1
		x'		x	x'

$$K_B = BX'A$$



Como se puede inferir al observar la tabla,  $X = Y$ . Esto se decidió así, ya que para nuestros propósitos la salida  $Y$  no es de importancia. Una vez obtenidas las funciones de Boole simplificadas se procede a dibujar el diagrama lógico, con el cual ya se puede implementar el circuito, la figura 4.6 muestra este diagrama.

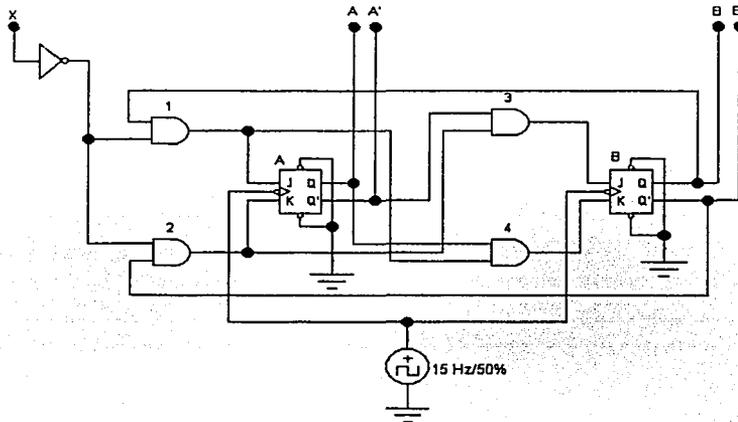
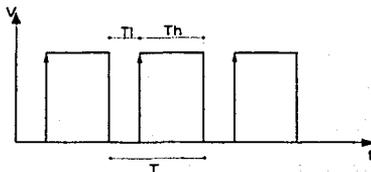


FIGURA 4.6

La velocidad del motor estará controlada mediante los pulsos de reloj. Estos pulsos podrán ser modulados mediante un potenciómetro de precisión con el fin de poder variar la velocidad del motor, y por consecuencia la del disco alimentador de focos.

Como se calculó en el capítulo 3, para cambiar de posición al disco es necesario que el motor dé 15 pasos en un tiempo de 1 segundo, por lo que la frecuencia del reloj será de 15Hz. A continuación se presenta el procedimiento realizado para el diseño del reloj y en la figura 4.7 se muestra el diagrama del mismo, así como su simulación.



Para un circuito 555 se tiene que:

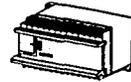
$$1 \text{ --- } T_H = 0.693(R_A + R_B)C$$

$$2 \text{ --- } T_L = 0.693(R_B)C$$

$$3 \text{ --- } T = T_H + T_L \quad 4 \text{ --- } T = \frac{1}{f}$$

Sustituyendo en 4 se tiene  $T = \frac{1}{15} = 0.0666s$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



sustituyendo 1 y 2 en 3 y utilizando  $c = 100\mu F$

$$5 \text{----} 962 = (R_A + 2R_B)$$

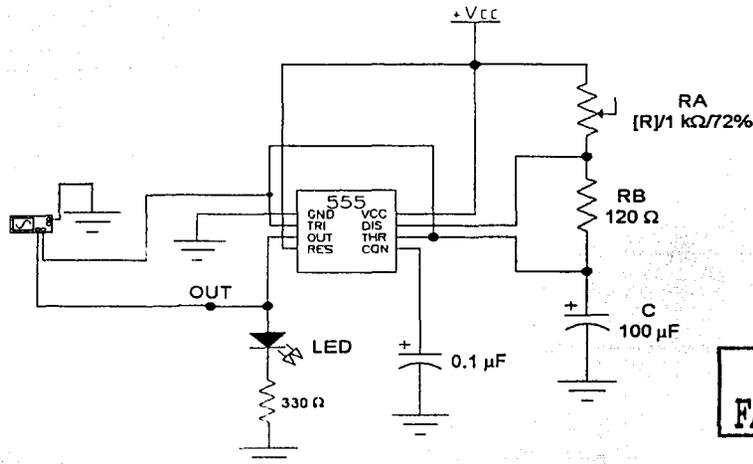
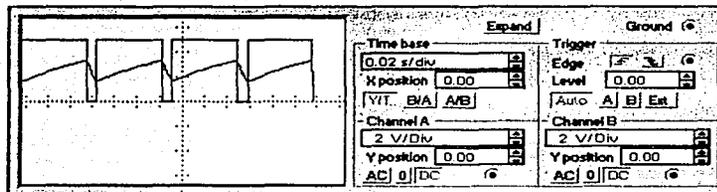
Ya que el cambio de estado del flip-flop se lleva a cabo solo durante el flanco ascendente (o descendente según el circuito utilizado), la duración del tiempo en alto  $T_H$  en relación con el tiempo en bajo  $T_L$  no es de gran importancia para esta aplicación. En nuestro caso utilizamos  $T_H = 7T_L$ , sustituyendo lo anterior en 1 e igualando con 2 para eliminar  $T_H$  y  $T_L$  se tiene:

$$6 \text{----} R_A = 6R_B$$

sustituyendo 6 en 5 y despejando obtenemos los valores de las resistencias adecuadas:

$$R_B = 120\Omega \quad \text{y} \quad R_A = 720\Omega$$

Con el fin de poder ajustar la velocidad del disco se instaló un potenciómetro de  $1k\Omega$  para la resistencia  $R_A$ .



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 4.7



Para acoplar el circuito del flip-flop y el reloj con el motor se utilizó la etapa de potencia de la figura 4.8, basada en un circuito H formado por transistores TIP 120.

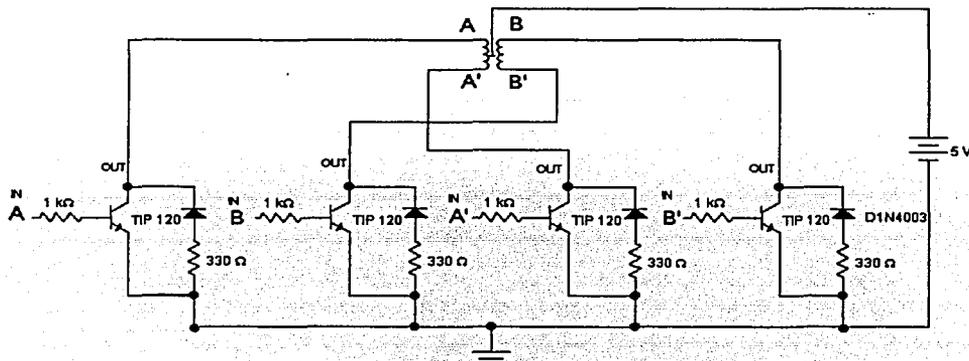


FIGURA 4.8

Una vez descritos, seleccionados y acondicionados los dispositivos de salida, podemos listarlos en la siguiente tabla.

MODULO 1 (PLC 1)						
Salida	Símbolo	Descripción	Tipo de Actuador	Preactuador	V [V]	I[A]
O:0/0	DISCO	Para el disco	Motor de pasos	Driver (puente H)	5.1 DC	1.2
O:0/1	F	Saca lengüeta	Cilindro Doble efecto (NR)	Electroválvula 4/2 Monoestable	24 DC	0.5
O:0/2	A MAS	Toma o suelta focos	Cilindro Doble efecto	Electroválvula 5/2 biestable (A)	24 AC	0.6
O:0/3	A MENOS	Suelta o toma focos	Cilindro Doble efecto	Electroválvula 5/2 Biestable (B)	24 AC	0.6
O:0/4	SB	Giro del manipulador	Cilindro Giratorio	Electroválvula 5/2 Monoestable	24 AC	0.6
O:0/5	SC	Baja manipulador	Cilindro Doble efecto (NE)	Electroválvula 5/2 Monoestable	24 AC	0.6
O:0/6	D	Cambio de presentación	Cilindro Doble efecto (NE)	Electroválvula 5/2 Monoestable	24 AC	0.6
O:0/7	E	Alimenta caja	Cilindro Doble efecto (NR)	Electroválvula 5/2 Monoestable	24 AC	0.6
O:0/8	SM1	Cambio sentido motor 1	Motor DC	Driver (Relevador 2 p / 2 t)	12 DC	0.3
O:0/9	FM1	Activa motor 1 y desactiva freno1	Freno y motor DC	Driver (Relevador 2 p / 2 t)	12 DC	0.3
O:0/10	CB	Comunicación con PLC 2	Salida (12V)	Relevador 1 polos 2 tiros	12 DC	0.2
O:0/11	CA	Permiso para expulsar caja PLC 2	Salida (12V)	Relevador 1 polos 2 tiros	12 DC	0.2



MODULO 2 (PLC 2)						
Salida	Símbolo	Descripción	Tipo de Actuador	Preactuador	V.M	[IA]
O:0/0	V	Ventosa	Ventosa-Eyector	Electroválvula 3/2 Monoestable	12 DC	0.4
O:0/1	P	Uña expulsora	Cilindro Doble efecto (NR)	Electroválvula 4/2 Monoestable	24 DC	0.5
O:0/2	SM2	Cambio sentido motor 2	Motor DC	Driver (Relevador 2 p / 2 t)	12 DC	0.3
O:0/3	FM2	Activa motor 2 y desactiva freno2	Freno y motor DC	Driver (Relevador 2 p / 2 t)	12 DC	0.3
O:0/4	G	Coloca eje de giro de apertura	Cilindro Doble efecto (NR)	Electroválvula 4/2 Monoestable	24 DC	0.5
O:0/5	J	Gira ventosa	Cilindro Doble efecto (NR)	Electroválvula 4/2 Monoestable	24 DC	0.5
O:0/6	K	Avance de la ventosa	Cilindro Doble efecto (NE)	Electroválvula 5/2 Monoestable	24 AC	0.6
O:0/7	L	Cierre de la tapa	Cilindro Doble efecto (NR)	Electroválvula 5/2 Monoestable	24 AC	0.6
O:0/8	N	Cierre de la pestaña	Cilindro simple Efecto (NR)	Electroválvula 3/2 Monoestable	115 AC	0.6
O:0/9	AMBAR	Alarma ámbar	Lámpara incandescente	Ninguno	115 AC	0.1
O:0/10	VERDE	Alarma verde	Lámpara incandescente	Ninguno	115 AC	0.1
O:0/11	CC	Permiso para sacar caja PLC 1	Salida (115V)	Ninguno	-	-

### 4.3 Control y programación del prototipo

Una vez conocidas las entradas y las salidas requeridas para el control del proceso de embalaje, estamos listos para seleccionar el dispositivo que controlará la máquina. Se ha estado hablando de PLC's. Sin embargo es conveniente justificar su uso en comparación con otros dispositivos de control. Se decidió utilizar PLC's debido principalmente a las siguientes ventajas:

- *Alta confiabilidad:* son controladores diseñados de manera robusta, para soportar situaciones inesperadas, y un factor de utilización alto.
- *Simplificación de cambios:* la instalación y desinstalación de componentes es sencilla.
- *Flexibilidad del control:* se pueden realizar diversas rutinas, gracias a su posibilidad de programación.
- *Programación universal:* el lenguaje de programación de los PLC es muy conocido en la industria y similar para las marcas existentes en el mercado.
- *Posibilidad de control digital y análogo:* se pueden implementar sistemas de malla cerrada y abierta tanto analógicos como digitales.
- *Requerimiento de espacio mínimo:* son pequeños, en relación con las máquinas en que se instalan.
- *Capacidad de comunicación:* se pueden conectar a redes electrónicas.



- *Alta calidad de los productos:* los fabricantes ofrecen productos con componentes de la más alta calidad.
- *Eliminación de hardware:* gracias a su robustez y sus instrucciones lógicas, se eliminan hasta en un 90% de dispositivos, como contadores, timers, relevadores, etc.
- *Reducción de cableado:* Es una consecuencia de la reducción de hardware.
- *Costo:* cada vez este tipo de controladores es más económico.

#### 4.3.1 Selección del PLC

En la selección de un PLC es necesario considerar distintos parámetros. En la tabla siguiente se listan los más importantes, enunciando también los requerimientos que se necesitan para el control de nuestro prototipo.

Parámetro	Requerimiento del prototipo
Número y tipo de entradas y salidas (analógicas o digitales)	34 entradas digitales, 21 salidas digitales
Elementos de salidas (rele, triac, FET)	Relevador, (no se necesitan salidas con altas frecuencias de operación)
Voltaje de las entradas (24DC, 115 AC, 220 AC, etc.)	Indistinto, ya que se acondicionaron los dispositivos de entrada para cualquier voltaje.
Diversidad de Voltajes en las salidas	3 salidas a 115VAC, 8 a 24VAC, 6 a 12VDC, 4 a 24VDC
Capacidad de memoria	Según el programa
Capacidad de expansión (integral o modular)	Indistinto
Voltaje de alimentación	Menor a 115V.
Capacidad de comunicación	Preferible
Tamaño	Menor a 20cm x 50 cm.
Compatibilidad con software (marca)	RsLogix 500 (Allen Bradley)

En nuestro caso y por razones económicas, la compatibilidad con el software disponible es fundamental en la selección del PLC, por lo que nos vemos obligados a seleccionar alguno compatible con el paquete RsLogix 500. Un tipo de controlador de la serie micrologix 1200 cuenta con 26 entradas y 14 salidas, y gracias a que es del tipo modular y de memoria expandible, se puede acondicionar a nuestras necesidades con la instalación de un modulo de 8 entradas y uno de 8 salidas, que son los que ofrece la marca. El tipo de salida, voltaje de entrada, etc. se puede configurar según el número de catalogo del fabricante.

Como se mencionó en el párrafo anterior, el PLC ideal para el prototipo resulta ser el Micrologix 1200, con un modulo de 8 entradas digitales y uno de 8 salidas digitales. Sin embargo, existe la posibilidad de utilizar dos controladores de la serie Micrologix 1000 (20 entradas, 12 salidas), los cuales son del tipo integral y por lo tanto tendrían que estar comunicados exteriormente. Cabe mencionar que resulta mucho más barato adquirir dos de estos controladores que uno de la serie 1200 con sus módulos de expansión, lo cual se vería



reflejado en los costos iniciales y de mantenimiento de la máquina. También hay que estar concientes de que el comunicar dos controladores integrales de manera externa consumirá entradas y salidas de los mismos, siendo mayores estos requerimientos entre mayor sea el nivel de comunicación deseado entre los controladores. No hay que olvidar que este tipo de comunicación es demasiado limitada con respecto a la que se puede tener entre un PLC modular y sus módulos, debido a que un controlador modular solo cuenta con un microprocesador y una memoria, los cuales controlan tanto a la unidad principal como a los módulos mediante un solo programa. En el caso de la comunicación exterior se tienen dos microprocesadores y dos memorias individuales, lo que exige el uso de dos programas, y por tanto la imposibilidad de utilizar todas las señales de entrada en cada uno. Sin hacer a un lado las consideraciones anteriores y por disponibilidad, seleccionamos el uso de dos controladores de la serie Micrologix 1000 cuyo número de catálogo, principales especificaciones y características se muestran en la figura 4.9.

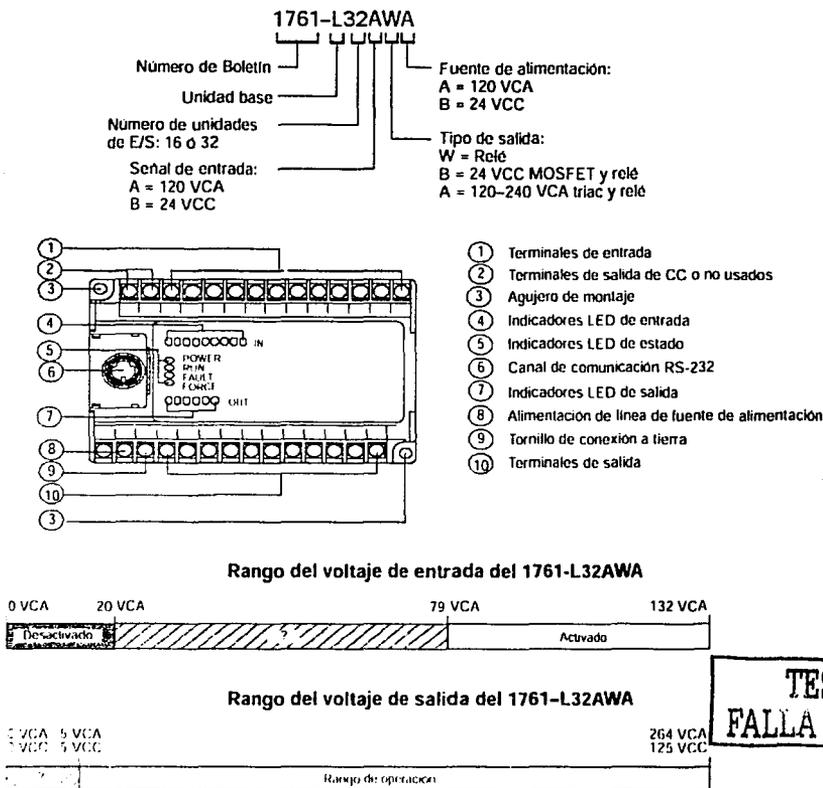


FIGURA 4.9



La dirección de las entradas y salidas, principalmente estas últimas, no puede decidirse al azar, sino que es necesario estudiar antes el diagrama de cableado del PLC, con el fin de escoger correctamente las direcciones para cumplir con la diversidad de voltajes que requiere el prototipo y que puede ofrecer el PLC. La figura 4.10 muestra dicho diagrama.

Diagrama de cableado del 1761-L32AWA

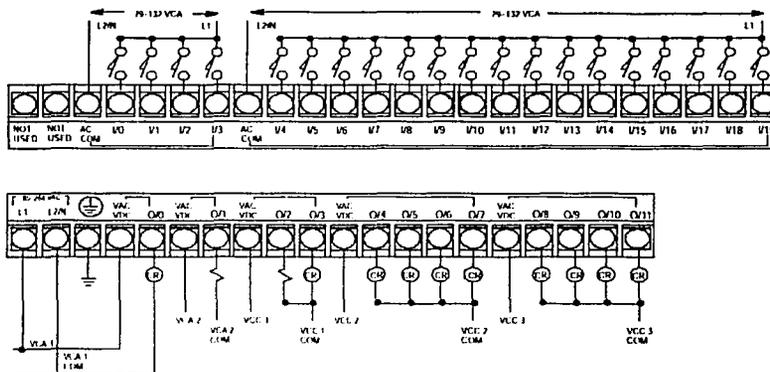


FIGURA 4.10

En nuestro caso resulta de gran importancia el seleccionar las entradas y salidas que han de conectarse a cada uno de los controladores, ya que de esto depende el éxito del control del prototipo. Esta selección se realizó agrupando las siete estaciones que conforman el proceso en dos grandes grupos; dicha agrupación se muestra en la figura 4.11, donde los números corresponden a las estaciones descritas en el capítulo 3.

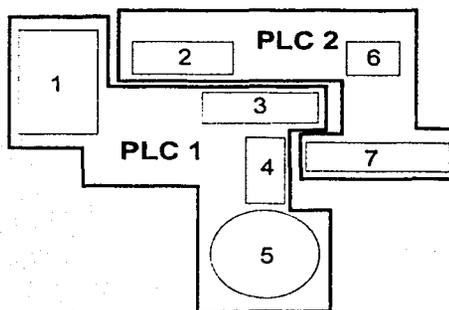


FIGURA 4.12

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Una vez seleccionadas las direcciones de las entradas y salidas, podemos ocupar las restantes para realizar la comunicación externa de los controladores. En las tablas que se presentan al final de los apartados 4.1 y 4.2 se puede observar cómo quedaron distribuidas las entradas y salidas en los módulos (PLC 1 y PLC 2), y en la figura 4.13 se detalló la forma en la que quedó la comunicación de los controladores. Como puede observarse, en dicha figura fue necesario la instalación de dos relevadores, con el fin de acoplar las salidas del PLC 1 con las entradas del PLC 2. Otra forma de comunicación que se empleó fue el uso estratégico de algunas entradas (F2, k0 y H) simultáneamente en ambos controladores.

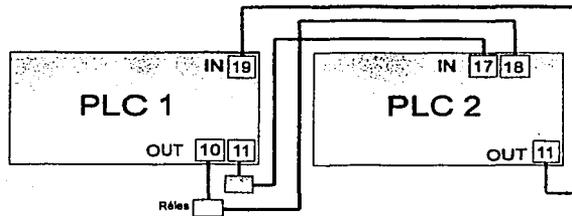


FIGURA 4.13

### 4.3.2 Programación del prototipo

Una vez determinadas las características del proceso y el funcionamiento de cada uno de los elementos que constituyen el prototipo, así como la selección del tipo y nivel de automatización deseada, estamos listos para escribir los programas que han de controlar la máquina. Para la escritura y explicación de estos programas nos apoyamos en diagramas de espacio-fase (en el caso de aquellos sistemas que realizan rutinas de trabajo cíclicas) y diagramas graficet (para los sistemas que tienen que tomar decisiones de acuerdo al estado de la máquina y por tanto no se comportan siguiendo siempre determinado ciclo de trabajo).

Comenzaremos con la programación del PLC 1, que como se ve en la figura 4.12 se encarga del control de las estaciones 1, 3, 4 y 5.

Los diagramas graficet en los que se basan los programas para cada una de las estaciones se muestran a continuación. Para la lectura de estos diagramas es necesario atender las siguientes consideraciones:

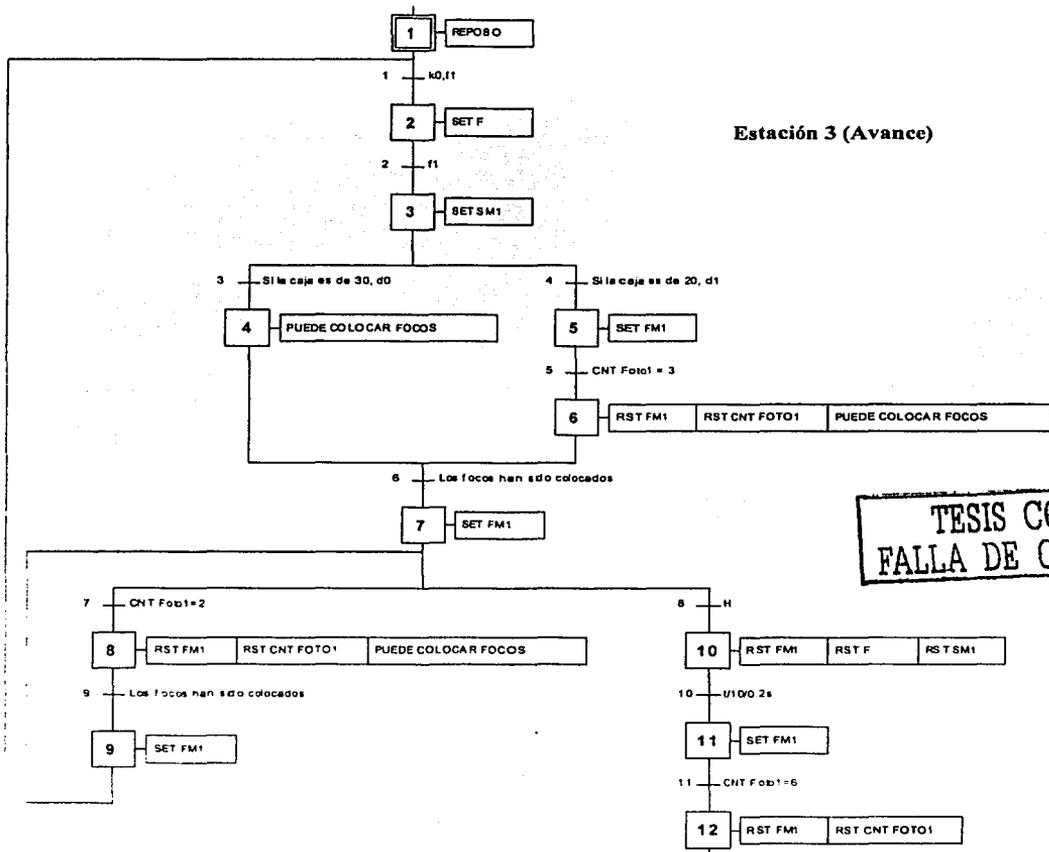
1. Los tiempos indicados en las transiciones que utilizan temporizadores pueden o no corresponder a los tiempos utilizados en el programa. Para tener un valor exacto del tiempo de los temporizadores es necesario consultar el diagrama de escalera correspondiente.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



2. Las acciones y/o transiciones que se describen mediante un enunciado indican el cumplimiento de alguna condición en el proceso.
3. Se utilizaron los siguientes contadores auxiliares:
  - CNT Foto1: cuenta las veces en que se activa el sensor fotoeléctrico Foto1.
  - CNT1: si su valor es la unidad indica que existen focos en la pinza del lado correspondiente al interruptor "a1".
  - CNT2: si su valor es la unidad, indica que existen focos en la pinza del lado correspondiente al interruptor "a0".

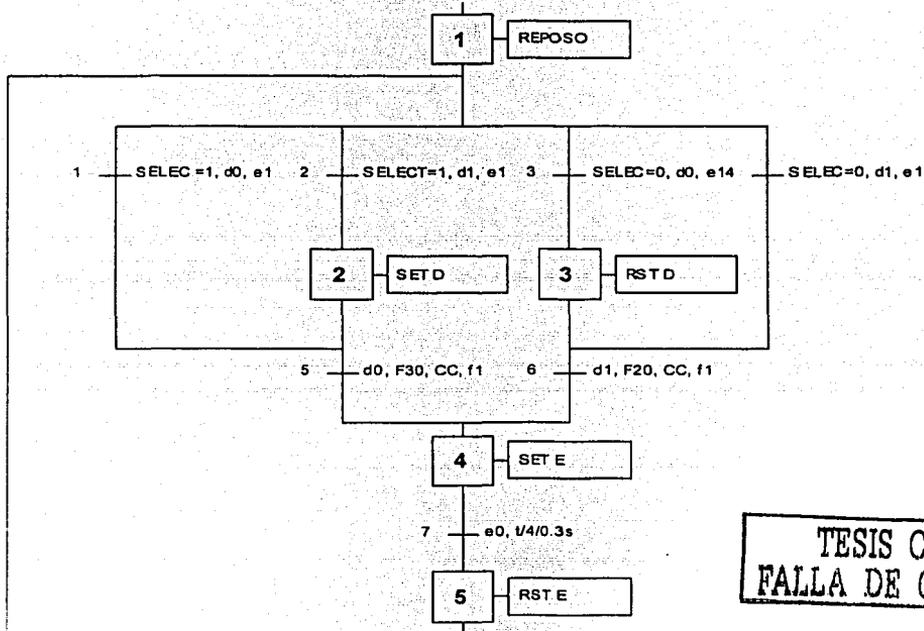
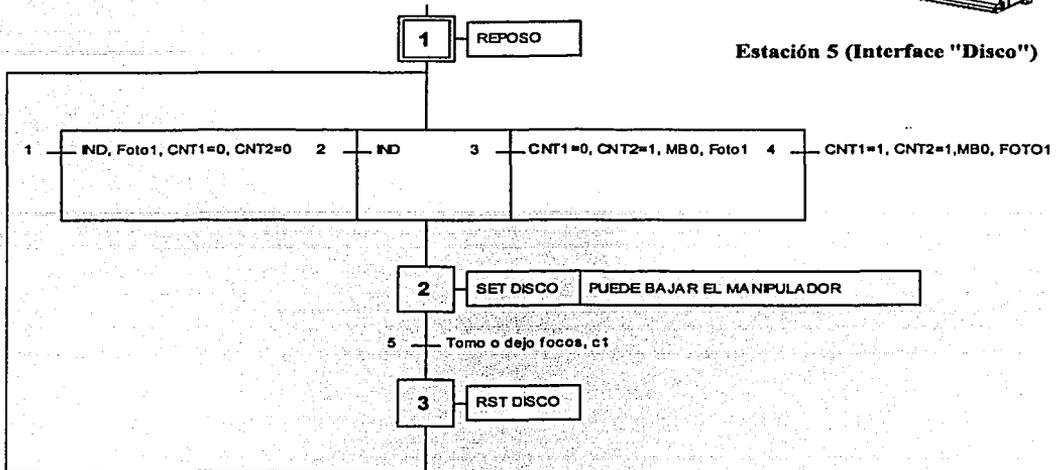
Los diagramas grafset que se utilizaron para la programación del PLC 1 son los siguientes:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

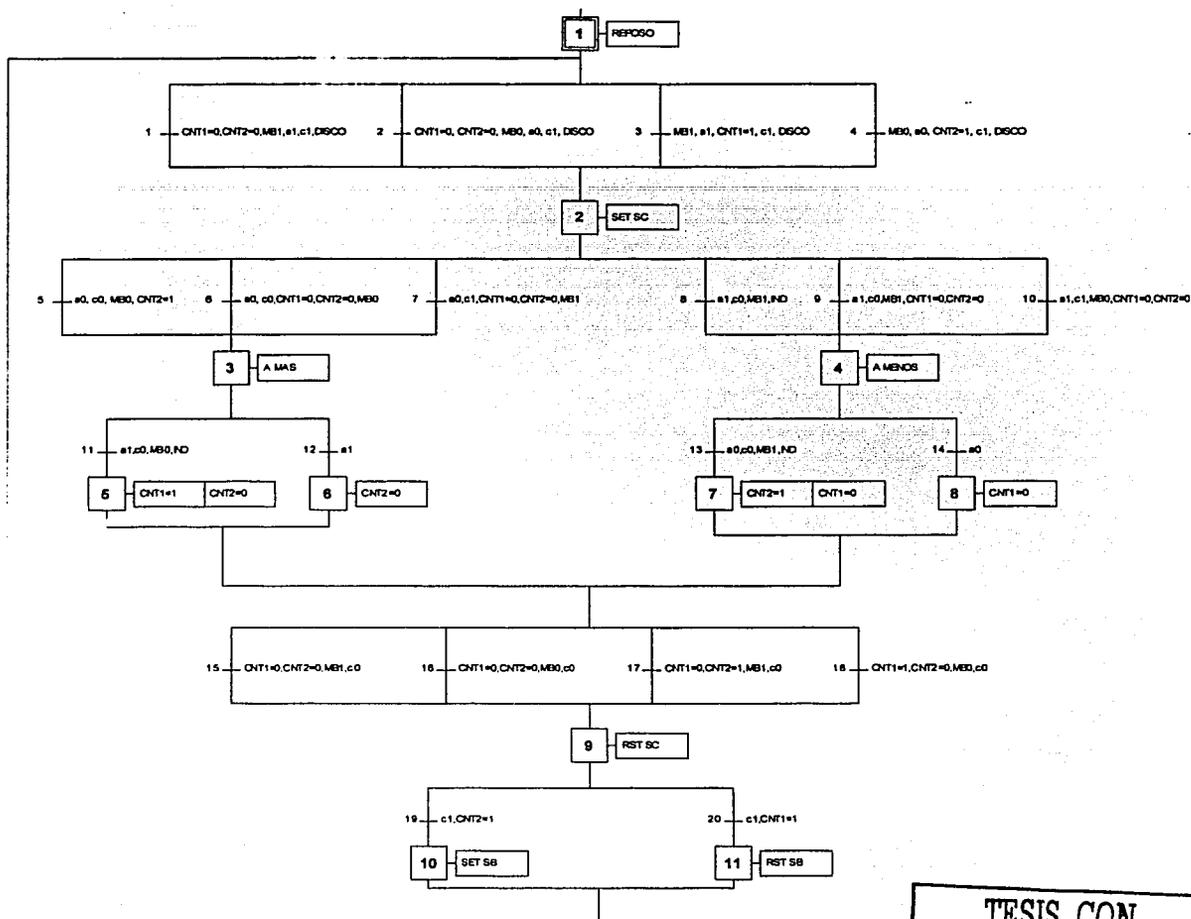


Estación 5 (Interface "Disco")



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Estación 1 (alimentador de cajas)



Estación 4 (Manipulador)

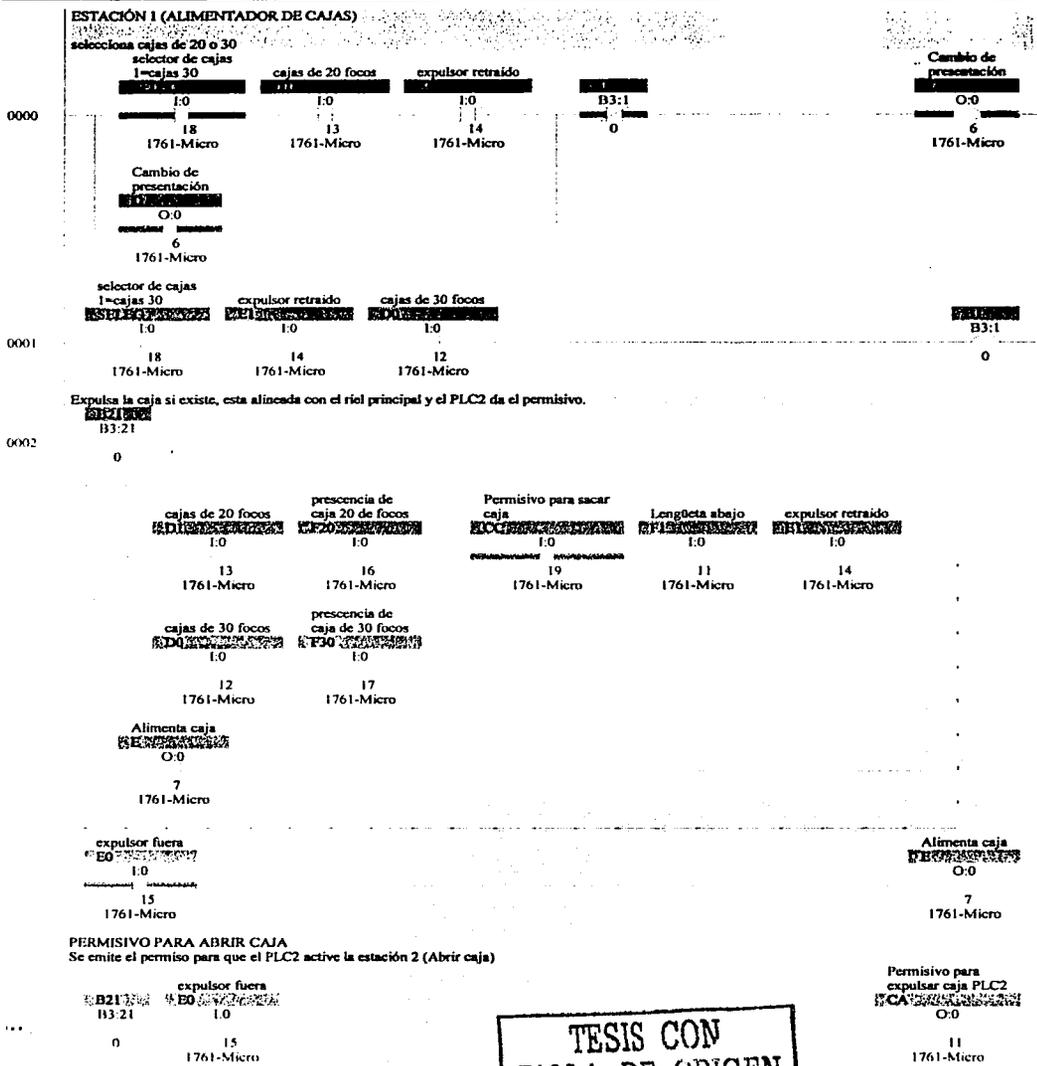
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para la edición de los diagramas de escalera correspondientes a los programas del PLC 1 y del PLC 2 se utilizó el software RS Logix 500.

A continuación se presenta el diagrama de escalera del módulo 1, el cual corresponde al programa que se aloja en el PLC 1 (FASE12).

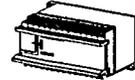


LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File - 55

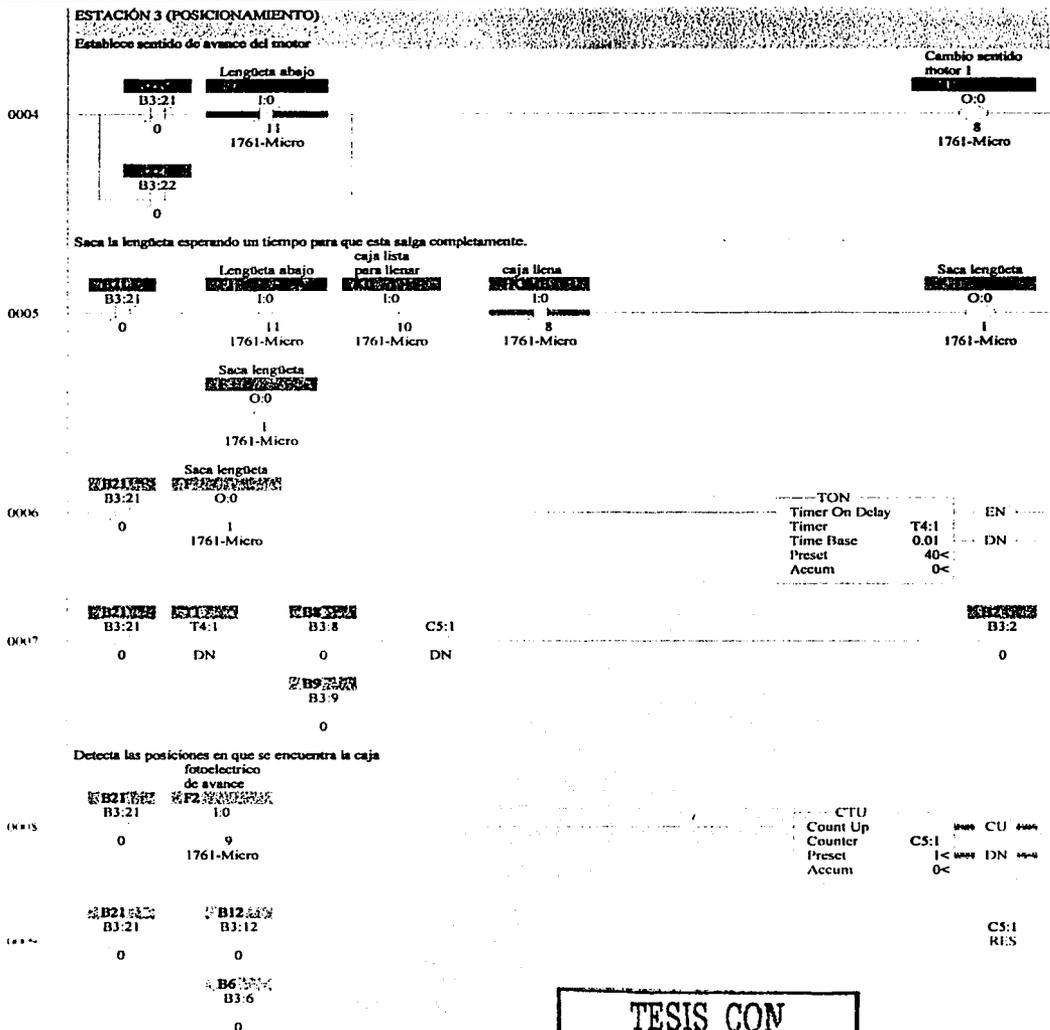


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Capítulo 4**  
**Automatización y control del prototipo**  
 FASE12



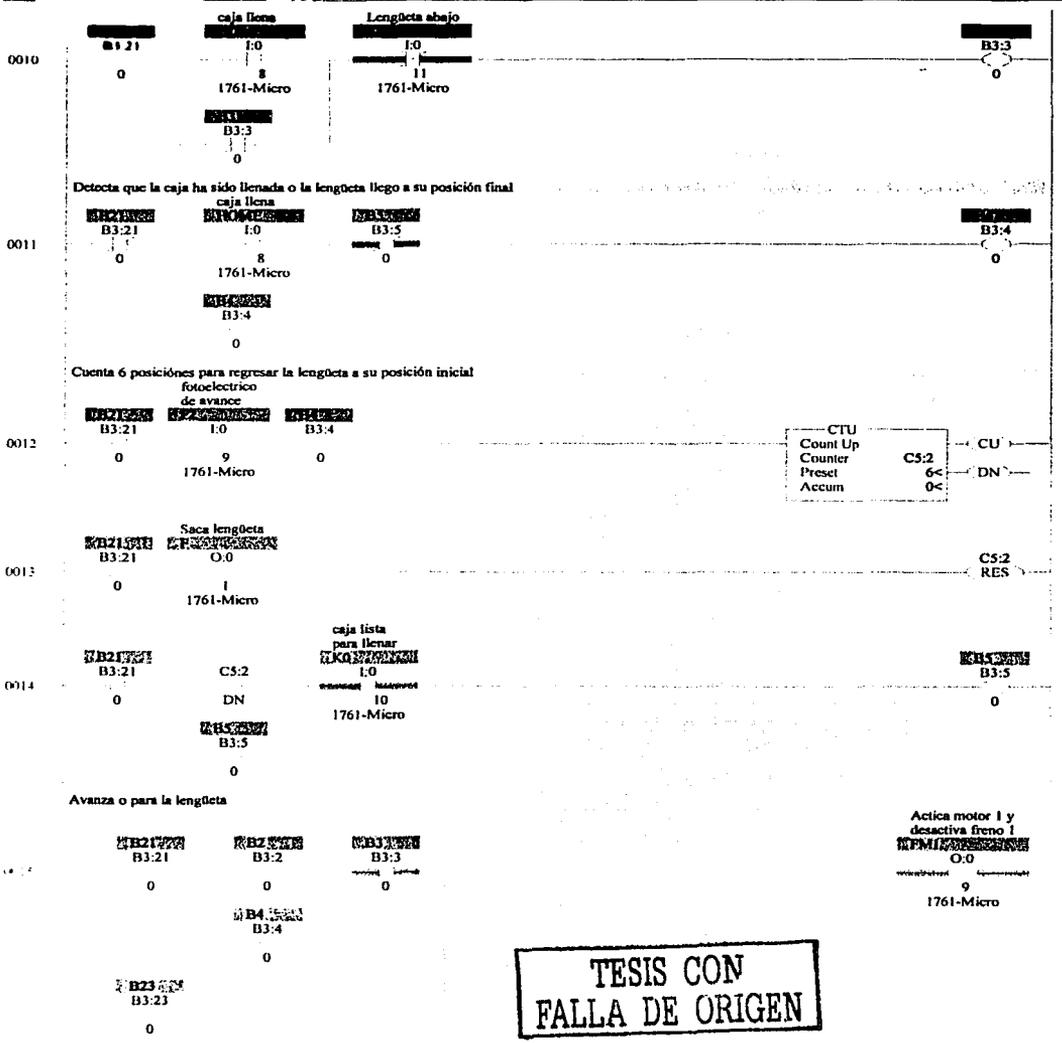
LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55



**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55

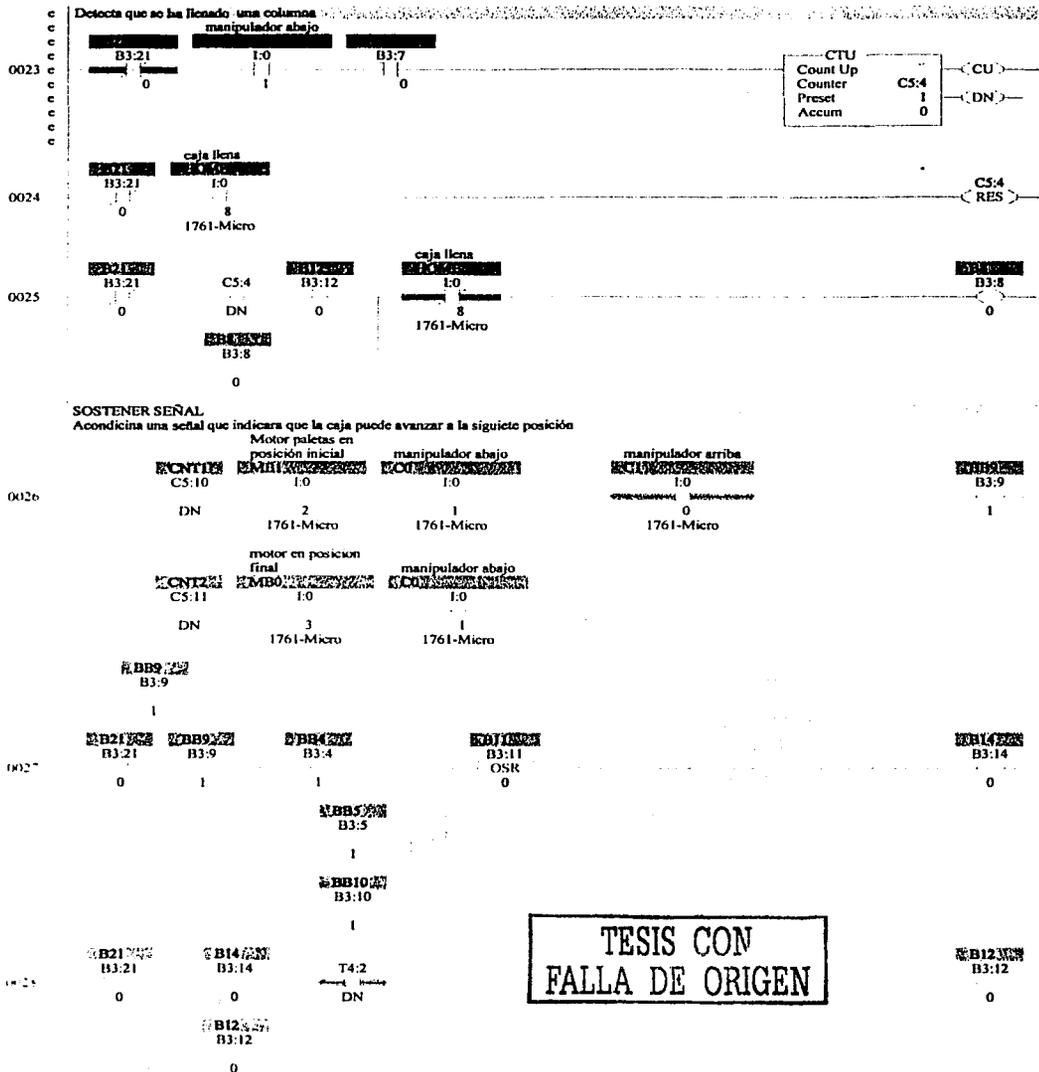


**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

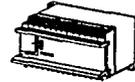




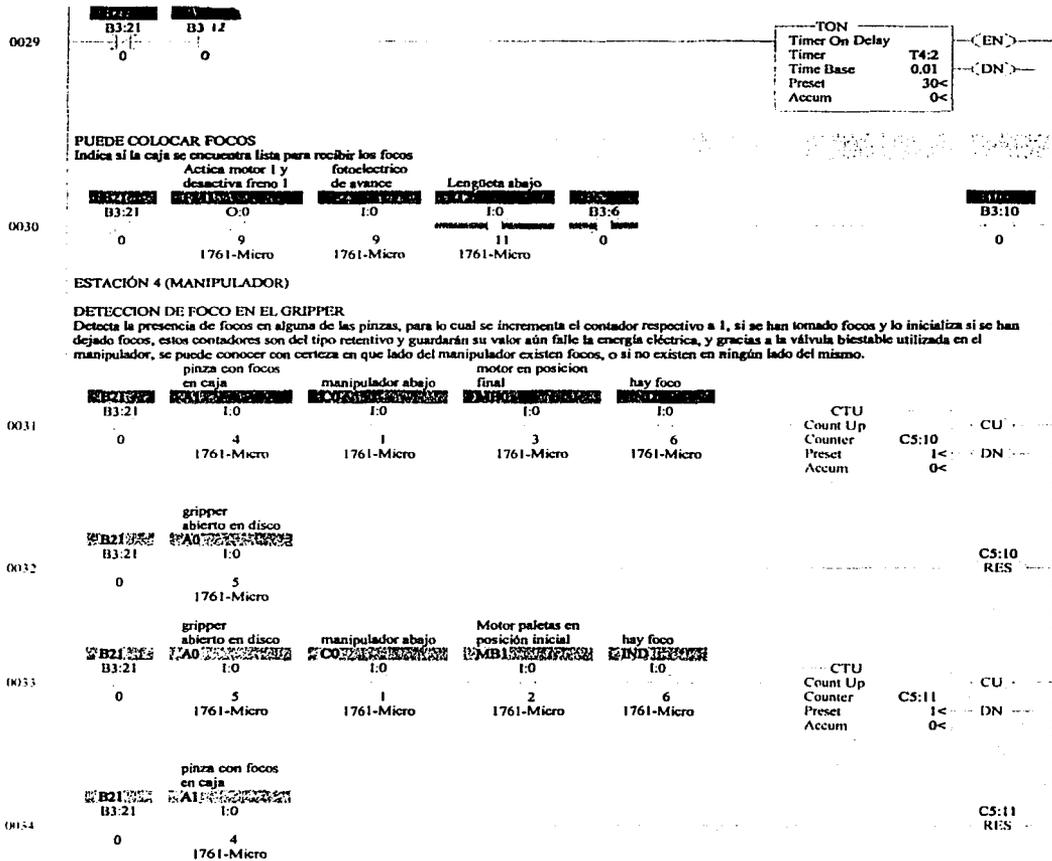
LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55



**Capítulo 4**  
**Automatización y control del prototipo**  
 FASE12



MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55



**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

Capítulo 4

## Automatización y control del ~~proceso~~

FASE12

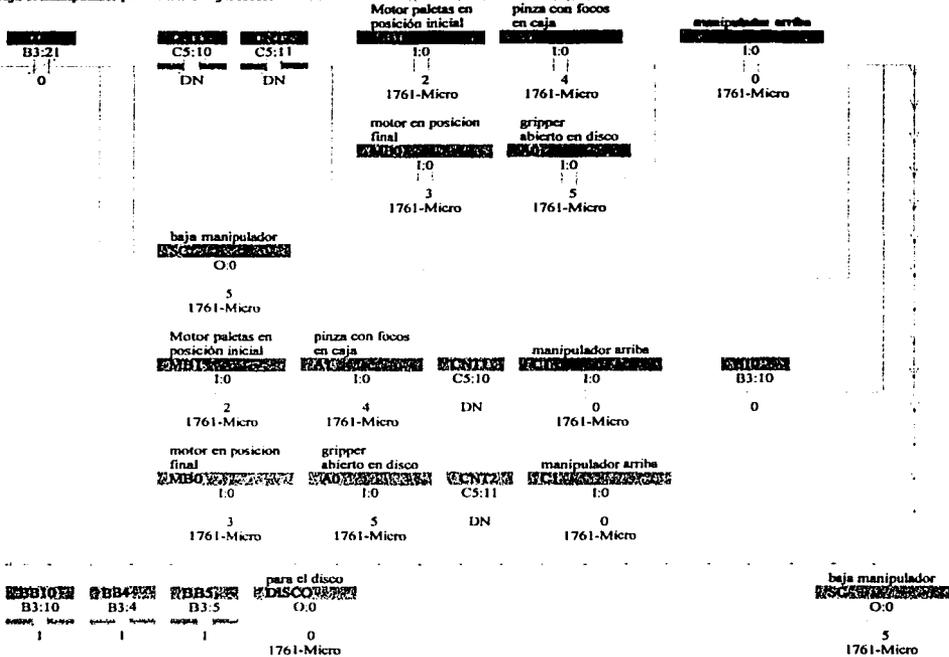


LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File -

**BAJAR MANIPULADOR**

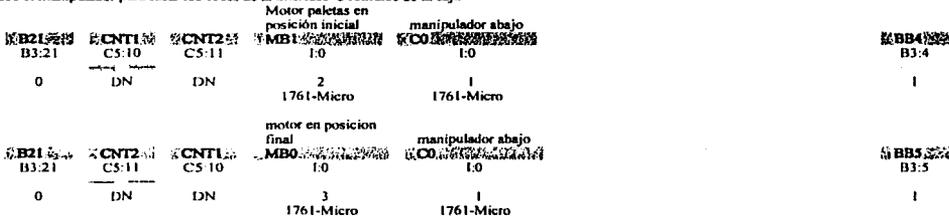
Baja el manipulador para tomar o dejar focos.

0035



**SUBE EL MANIPULADOR**

sube el manipulador para sacar los focos de la interface o retirarse de la caja

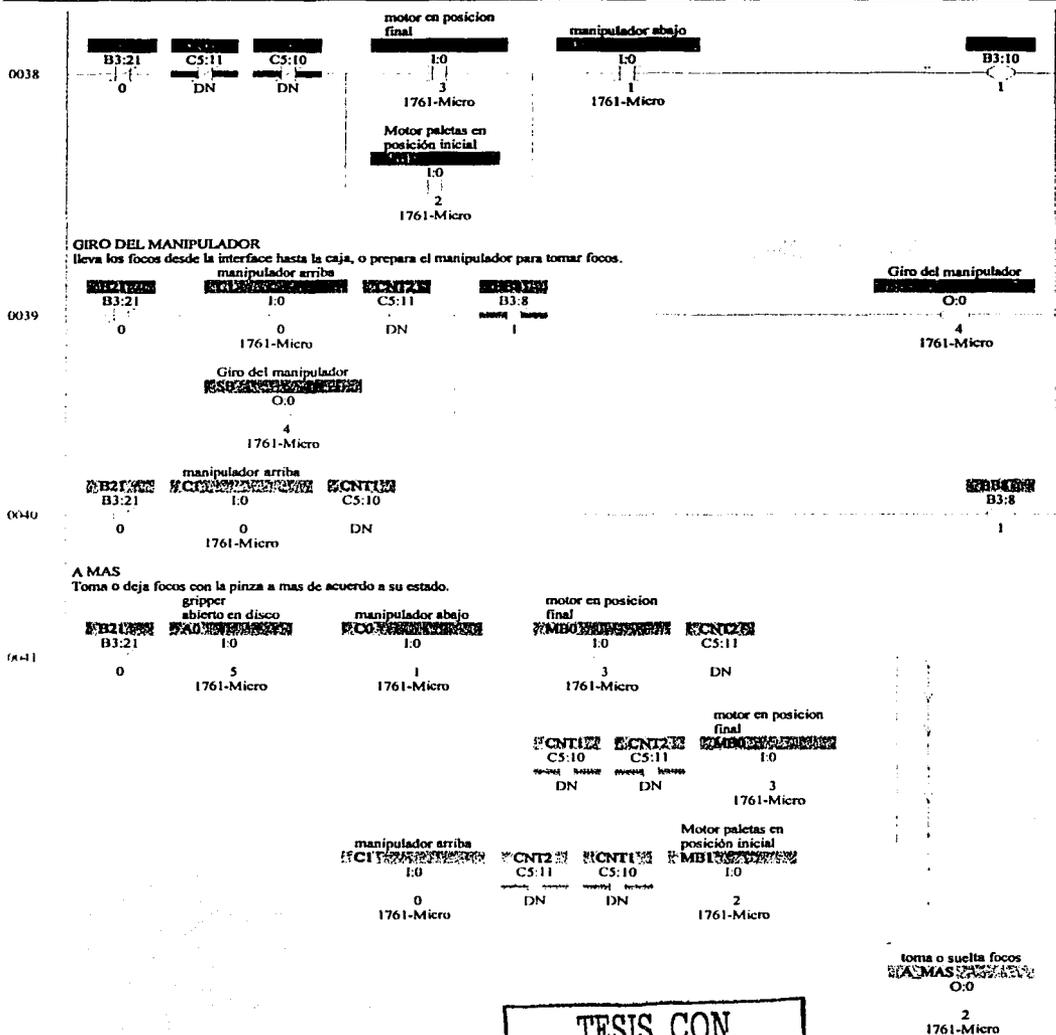


**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**Capítulo 4**  
**Automatización y control del prototipo**  
**FASE12**



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55

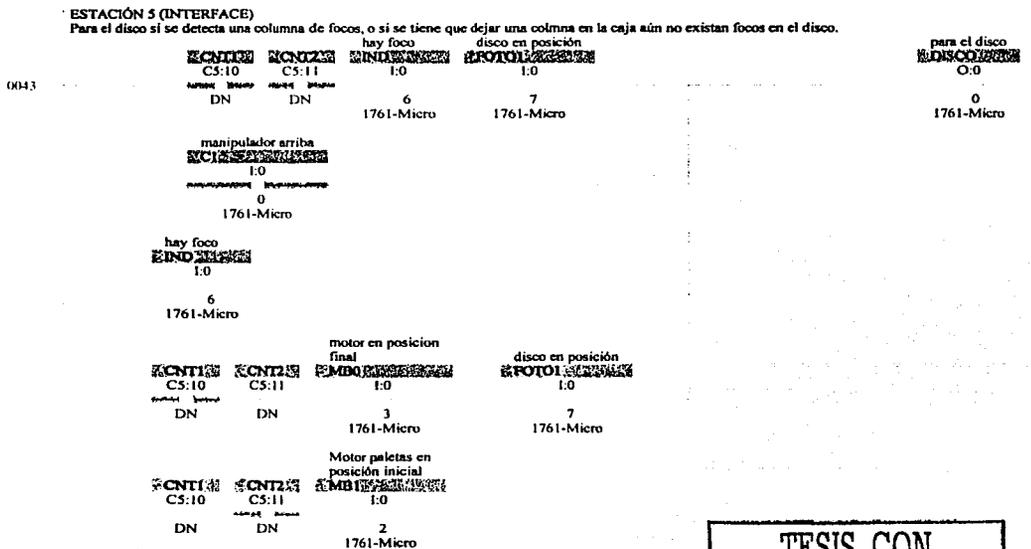
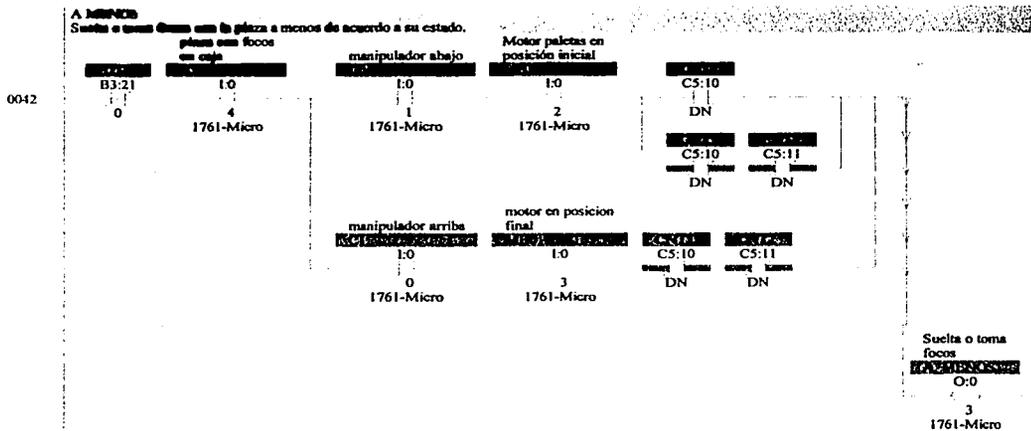


TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

**Capítulo 4**  
**Automatización y control del prototipo**  
 FASE12



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55



**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55

**PERMISO PARA CERRAR**

Da un permiso al PLC2 para activar la estación 6 y evitar un choque entre el manipulador y el mecanismo de cierre de la tapa.

	motor en posición final	Comunicación con el PLC 2
0044	B3:21 1:0 0 3 1761-Micro Motor paletas en posición inicial 1:0 2 1761-Micro	O:0 10 1761-Micro

**RETORNO DE CARRO**

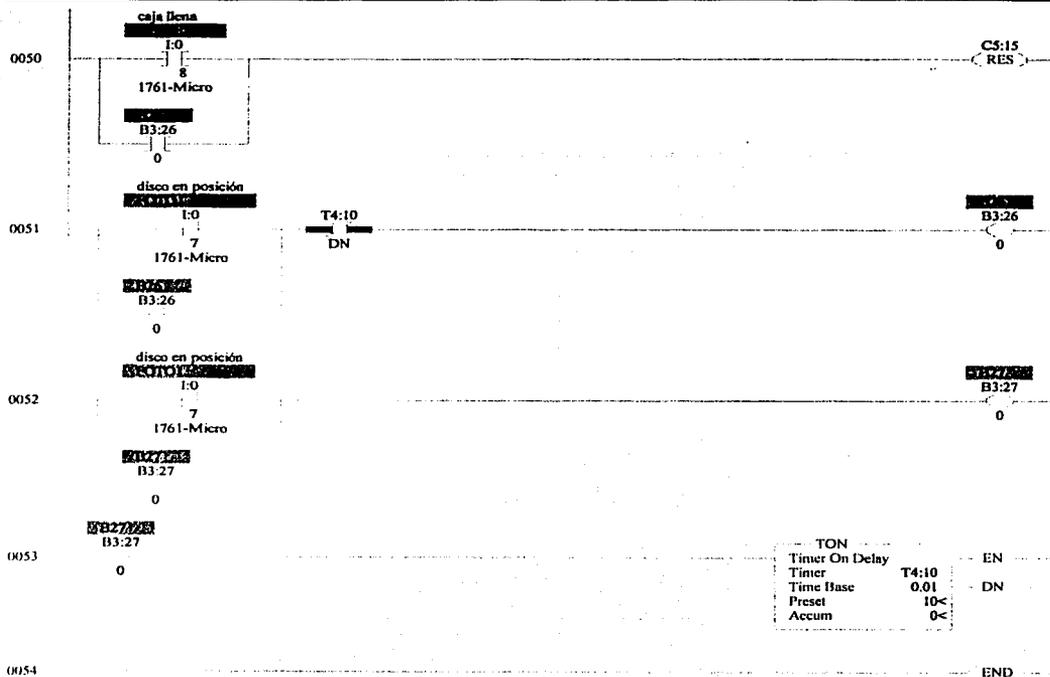
Realiza una rutina de inicio de la máquina. Se encarga de llevar el sistema de posicionamiento a su posición inicial al encender la máquina, esto para evitar problemas después de un fallo de energía, una interrupción del proceso mediante el paro de emergencia, etc.

0045	C5:15 DN	B3:21 0
0046	B3:21 0 B3:22 0 caja llena I:0 8 1761-Micro B3:24 0 B3:21 0 B3:23 0 fotoelectrico de avance I:0 9 1761-Micro	C5:15 DN B3:24 0 B3:23 0 B3:22 0 C5:15 DN CU Count Up Counter Preset 6< Accum 0<

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 55

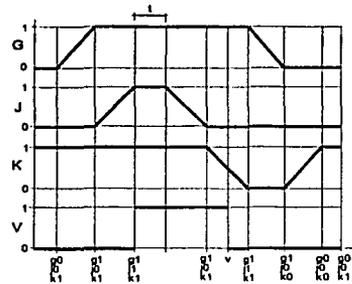


TON		
Timer On Delay		EN
Timer	T4:10	DN
Time Base	0.01	
Preset	10<	
Accum	0<	

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

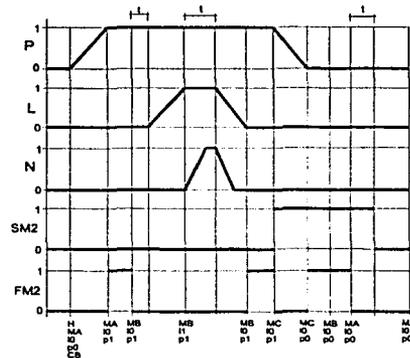


Para la programación del módulo 2, el cual se encarga de las estaciones 2, 6 y 7, nos basamos en los siguientes diagramas espacio-fase:



El valor de los tiempos  $t$  se puede consultar en el diagrama de escalera correspondiente y se ajustó mediante pruebas.

ESTACIÓN 2 (ABRIR CAJA)



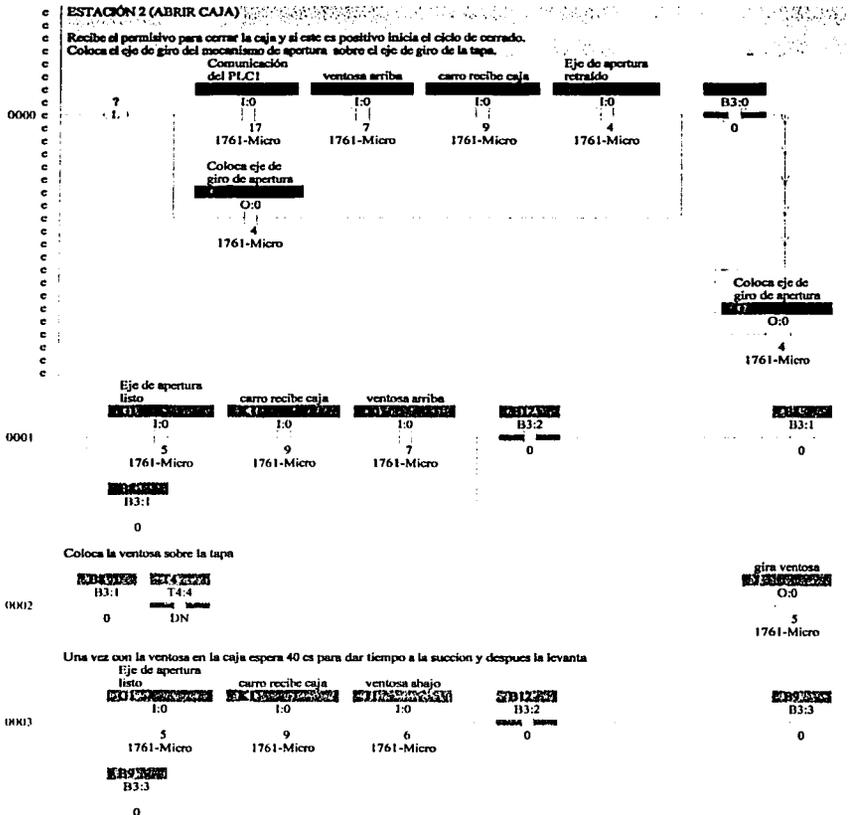
ESTACIONES 6 Y 7 (CERRAR CAJA Y EXPULSIÓN)

A continuación se presenta el diagrama de escalera del modulo 2, el cual corresponde al programa que se aloja en el PLC 2 (FASE2N).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



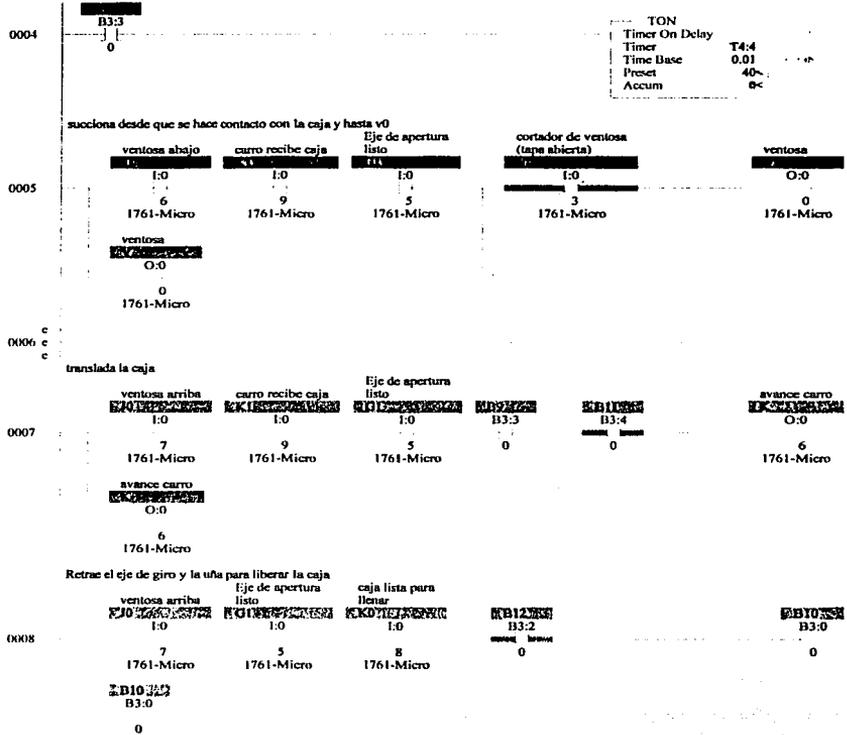
LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 41



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



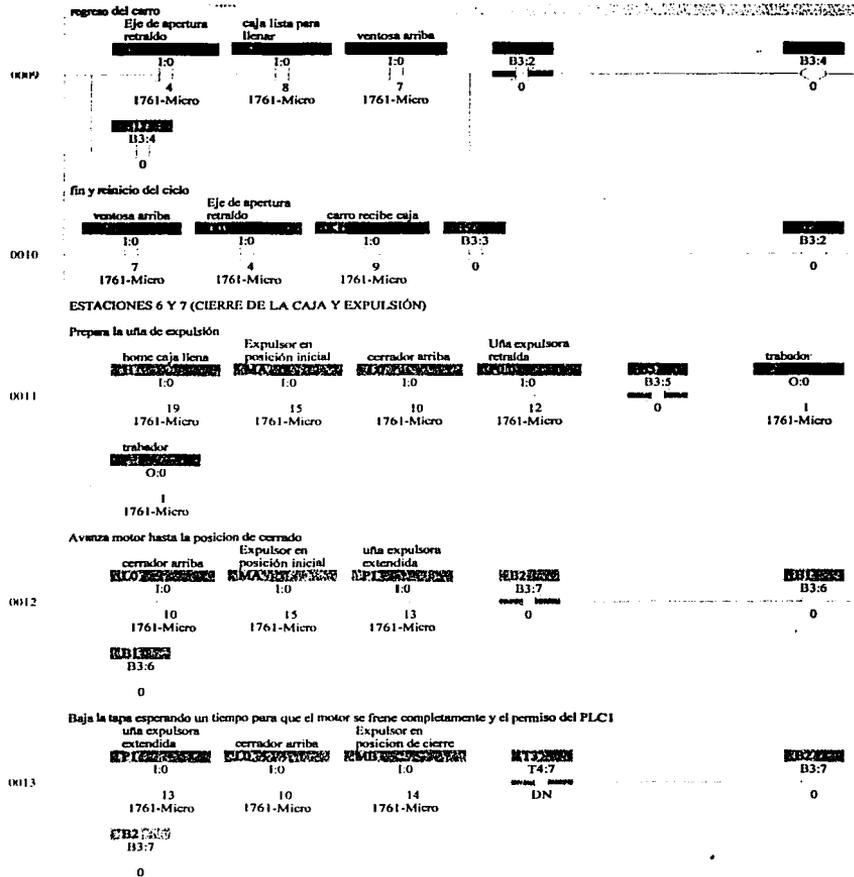
LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 41



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



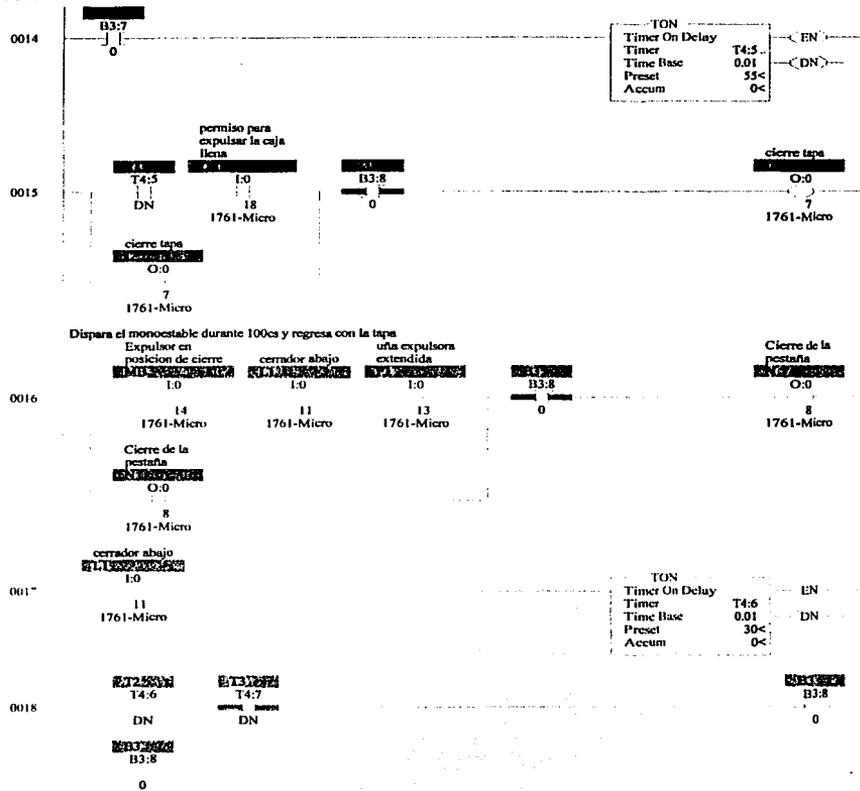
LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 41



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 41



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



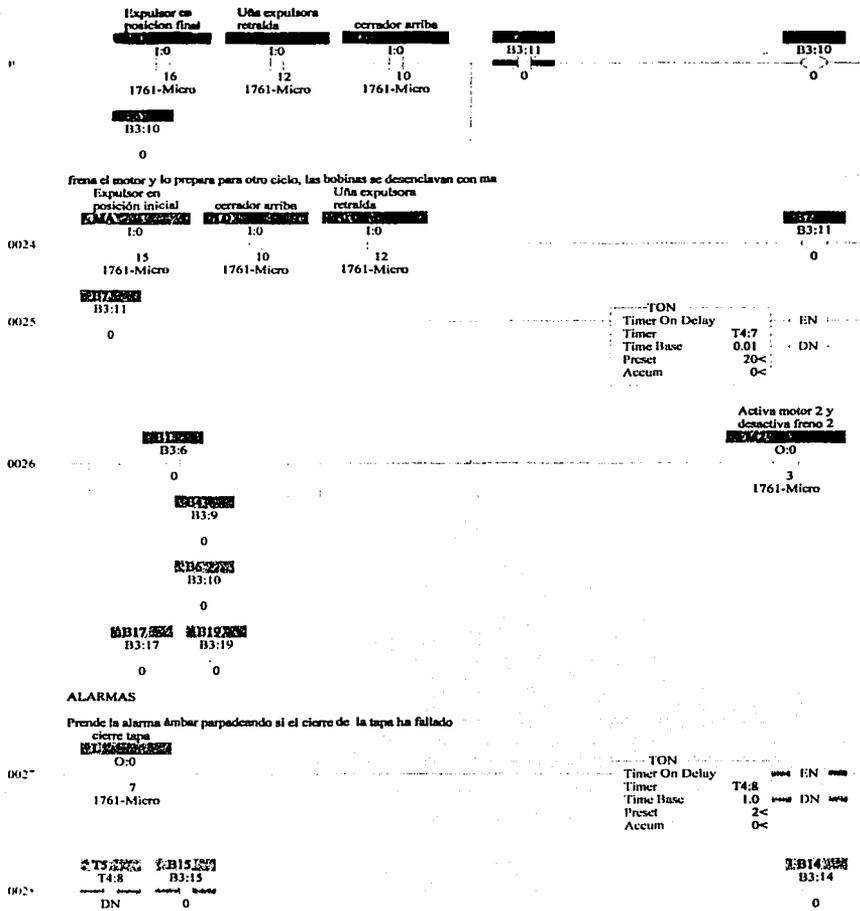
LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Run: . . . 41

	Expulsión en posición de cierre	uía expulsora extendida	cerrador arriba			
0019	1:0 14 1761-Micro	1:0 13 1761-Micro	1:0 10 1761-Micro	B3:9 0	B3:9 0	
0020	1:0 13 1761-Micro	1:0 10 1761-Micro	1:0 16 1761-Micro	T4:7 DN	B3:5 0	
0021	B3:5 0		DN		cambio de sentido del motor 2 0:0 2 1761-Micro	
0022	Expulsión en posición inicial 1:0 15 1761-Micro				B3:19 0	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



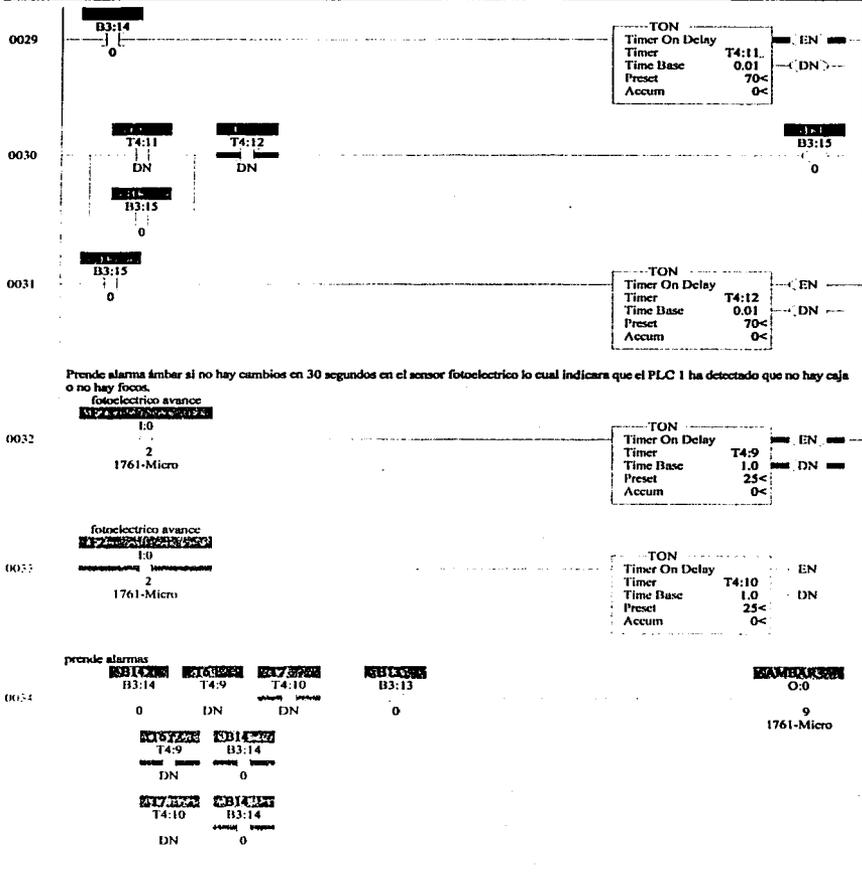
LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 41



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File = 41



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



LAD 2 - MAIN\_PROG --- Total Rungs in File - 4

Prende la alarma verde al pulsar el botón de inicio y mientras la máquina funciona correctamente.

0035 ~~B3:17~~ ~~O:0~~  
 0  
 1761-Micro

0036 ~~I:0~~ ~~I:0~~  
 0  
 1761-Micro 1761-Micro

~~B3:13~~  
 0

PERMISIVO PARA SACAR CAJA  
 Da al PLC1 permiso para alimentar una caja para ser llenada, siempre y cuando el sistema este listo. La caja puede ser alimentada aún mientras se llena otra caja.

0037 ~~home caja llena~~ ~~caja lista para llenar~~  
~~B3:16~~ ~~I:0~~ ~~B3:16~~  
 I:0 I:0  
 19 8  
 1761-Micro 1761-Micro

~~B3:16~~  
 B3:16  
 0

Eje de apertura  
 cerrado ~~ventosa arriba~~ ~~cara recibe caja~~ ~~canal~~ ~~puede sacar caja~~  
~~I:0~~ ~~I:0~~ ~~I:0~~ ~~B3:17~~ ~~B3:16~~  
 I:0 I:0 I:0 B3:17  
 4 7 9 0  
 1761-Micro 1761-Micro 1761-Micro 1761-Micro 11  
 1761-Micro

PARO Y ARRANQUE  
 La máquina realizará la rutina de inicio y el proceso iniciará hasta que se pulse el botón de arranque. Al pulsar el botón de paro de proceso se terminará el ciclo iniciado y el proceso se detendrá hasta volver a pulsar el botón de arranque.

0039 ~~ARRANQUE~~ ~~PARO~~  
~~I:0~~ ~~I:0~~ ~~B3:17~~  
 I:0 I:0  
 1 0  
 1761-Micro 1761-Micro

~~B3:17~~  
 B3:17  
 0

0040 END

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



#### 4.4 Instalación del equipo

En este apartado se presentan los diagramas eléctrico y neumático del prototipo. En dichos diagramas se encuentran simbolizados todos los componentes eléctricos y neumáticos que se utilizaron, así como su conexión con los demás componentes.

A continuación se enumeran algunas de las consideraciones que se tomaron en cuenta para la instalación del equipo neumático y eléctrico.

##### 4.4.1 Equipo neumático

- La entrada de la presión proveniente del compresor se realiza mediante una conexión rápida del tipo plug-on.
- Se instaló una unidad de mantenimiento que incluye: electroválvula de paso, filtro, lubricador, regulador de presión y manómetro.
- Todas las válvulas se instalaron en la parte baja del bastidor de la máquina, tienen fácil acceso y pueden ser accionadas manualmente.
- Se instalaron silenciadores de escape rápido en todas las válvulas.
- Todas las conexiones se realizaron con uniones rápidas.
- Se utilizaron guías y sujetadores para evitar el enredo y estiramiento de las mangueras en movimiento.

##### 4.4.1 Equipo eléctrico

- La alimentación eléctrica (110V AC) se realiza mediante una conexión del tipo Tempra de tres pines (fase, neutro y tierra).
- Se cuenta con un interruptor manual con protección de sobrecorriente y corto circuito.
- Se instalaron dos fuentes de voltaje, una de corriente continua con salidas de 5VDC 20A y 12VDC 10A y otra de corriente directa y alterna con salidas de 24VDC 6A y 24VAC 6A.
- Se instaló un relevador maestro que se encarga de desconectar la alimentación eléctrica a todas las salidas y los controladores, así como de eliminar el aire a presión en los elementos neumáticos por medio del cierre de la electroválvula de paso de la unidad de mantenimiento. Este relevador es de dos polos dos tiros (Bobina 110 VAC) y se activa mediante el botón de paro de emergencia, activando a su vez la alarma roja.
- Los drivers de los motores y las etapas de acondicionamiento de los sensores fotoeléctricos se instalaron en un gabinete colocado bajo el disco alimentador de focos.
- Los controladores se instalaron en la parte trasera de la máquina, sobre rieles DIN y se utilizaron clemas para la conexión de las entradas y salidas, para poder cambiar los controladores rápida y sencillamente.
- Todos los dispositivos de entrada y salida son desmontables, sin necesidad de alterar el cableado, gracias a que cuentan con conectores rápidos y zapatillas de conexión.
- Se instalaron fusibles de protección (ver diagrama).

A continuación se muestran los diagramas eléctrico y neumático del prototipo.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

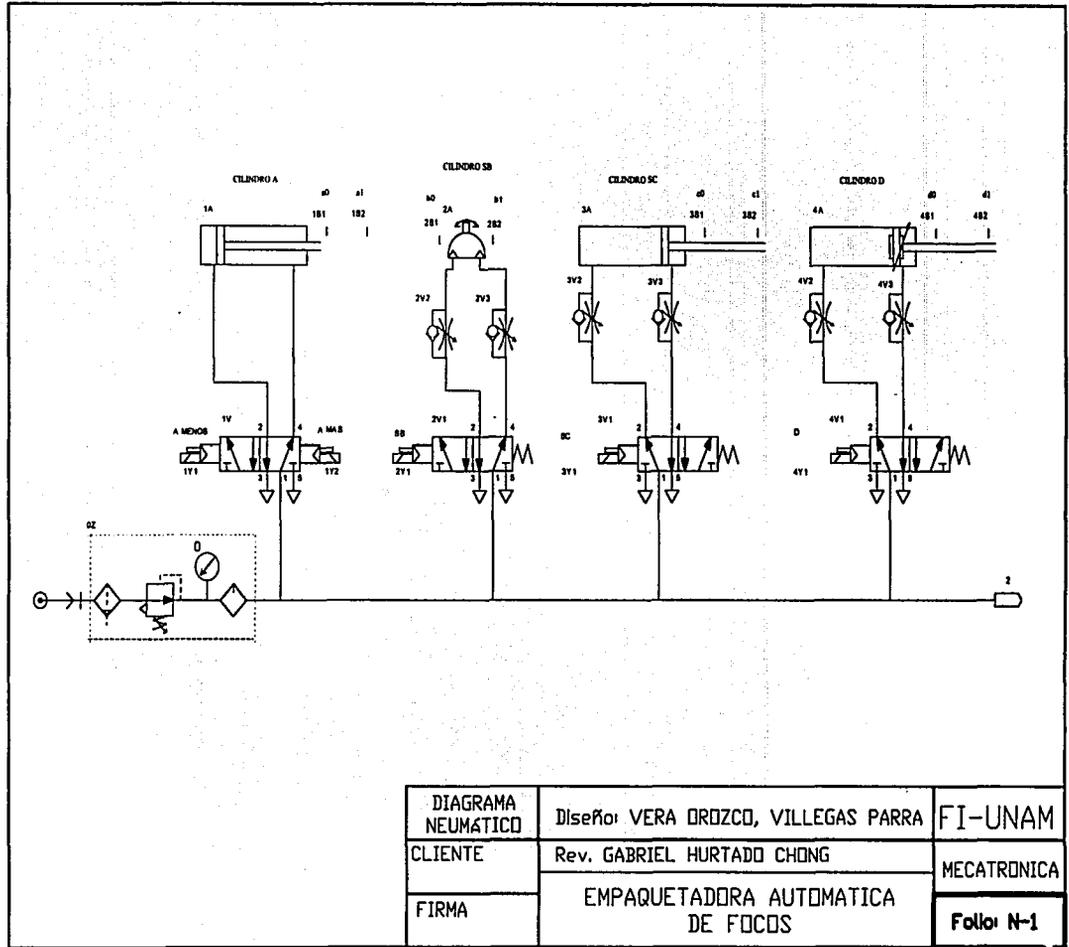


DIAGRAMA NEUMÁTICO	Diseño: VERA OROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCDS	Folio N-1

TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN

114

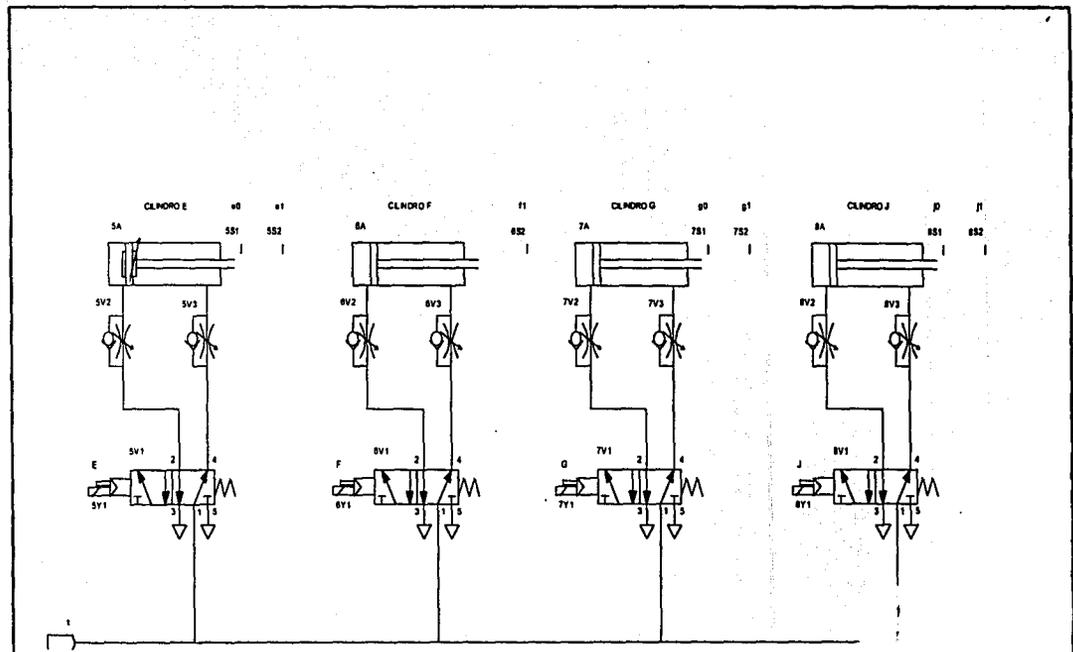


DIAGRAMA NEUMATICO	Diseño: VERA OROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCOS	Folio N-2

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

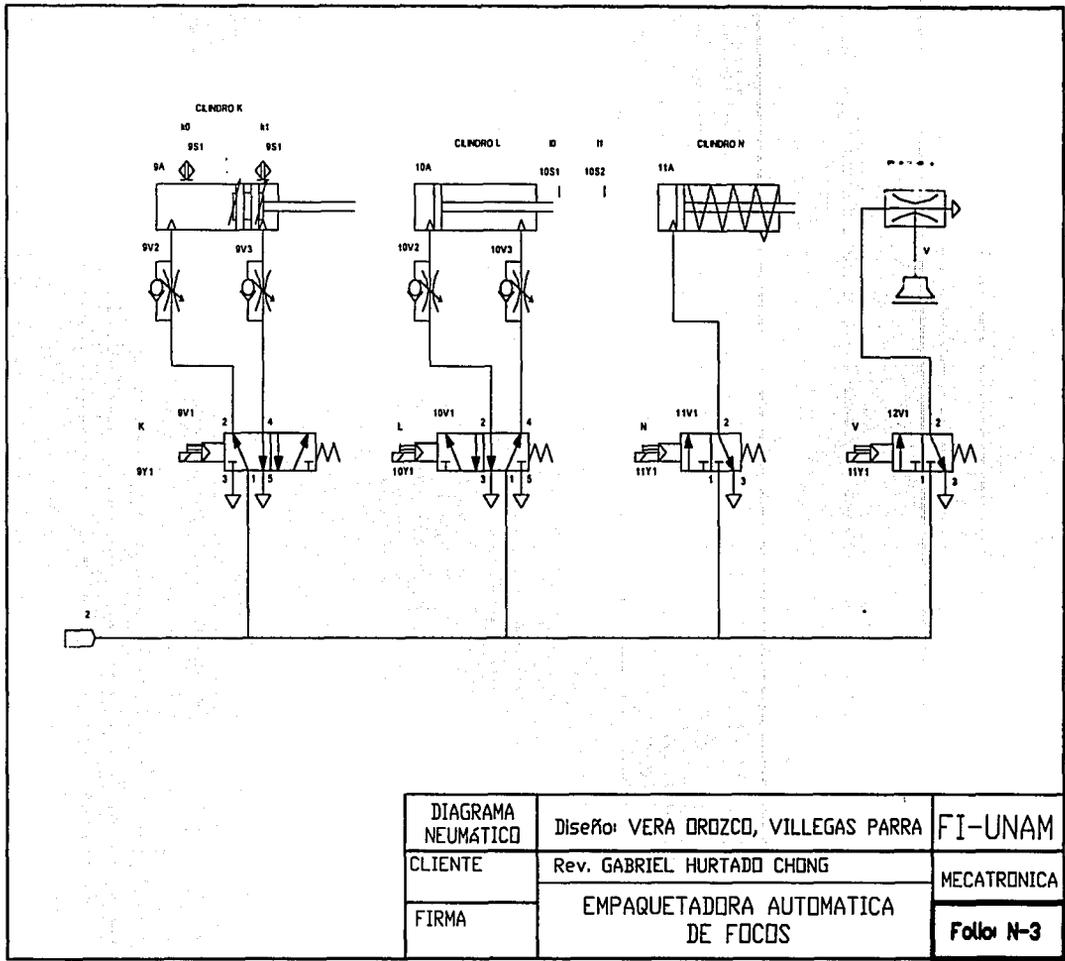


DIAGRAMA NEUMÁTICO	Diseño: VERA OROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMÁTICA DE FOCDS	Folio N-3

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

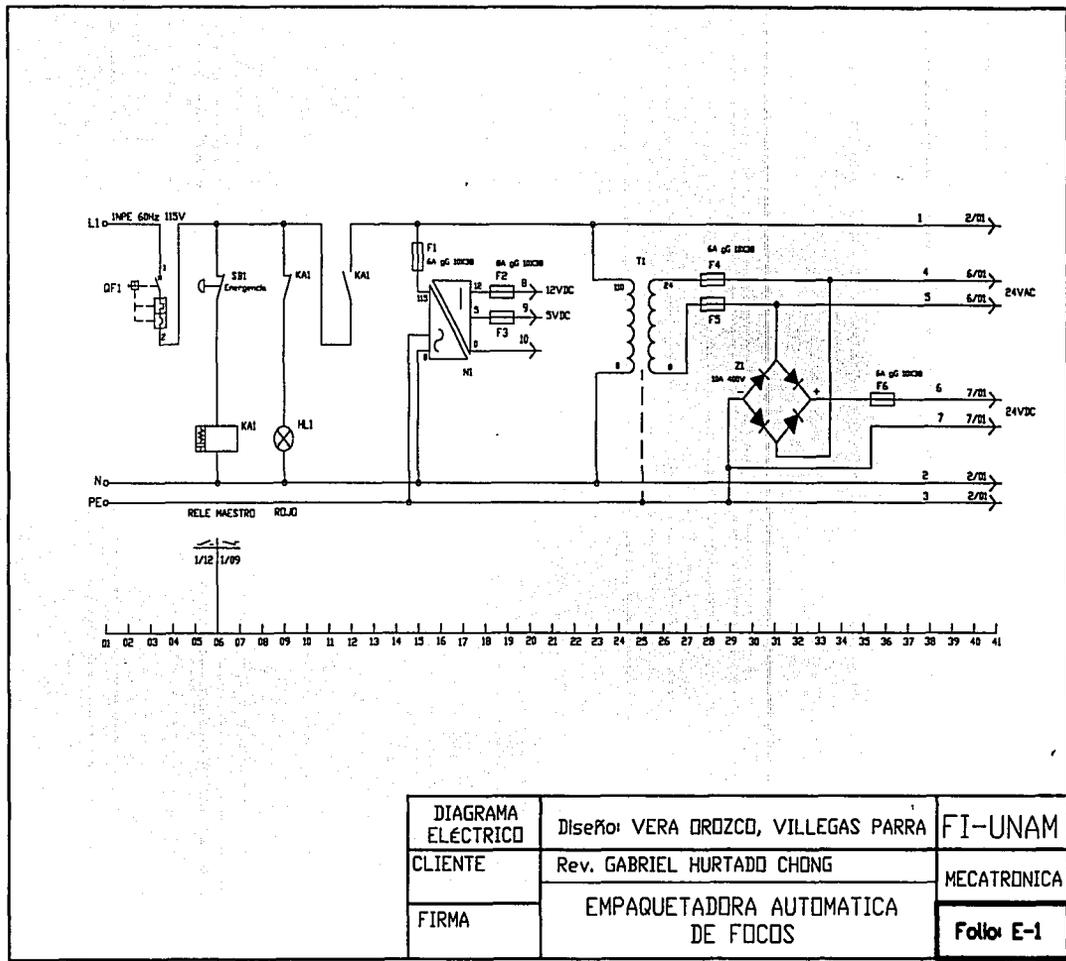


DIAGRAMA ELÉCTRICO	Diseño: VERA ORZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCOS	Folio E-1

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

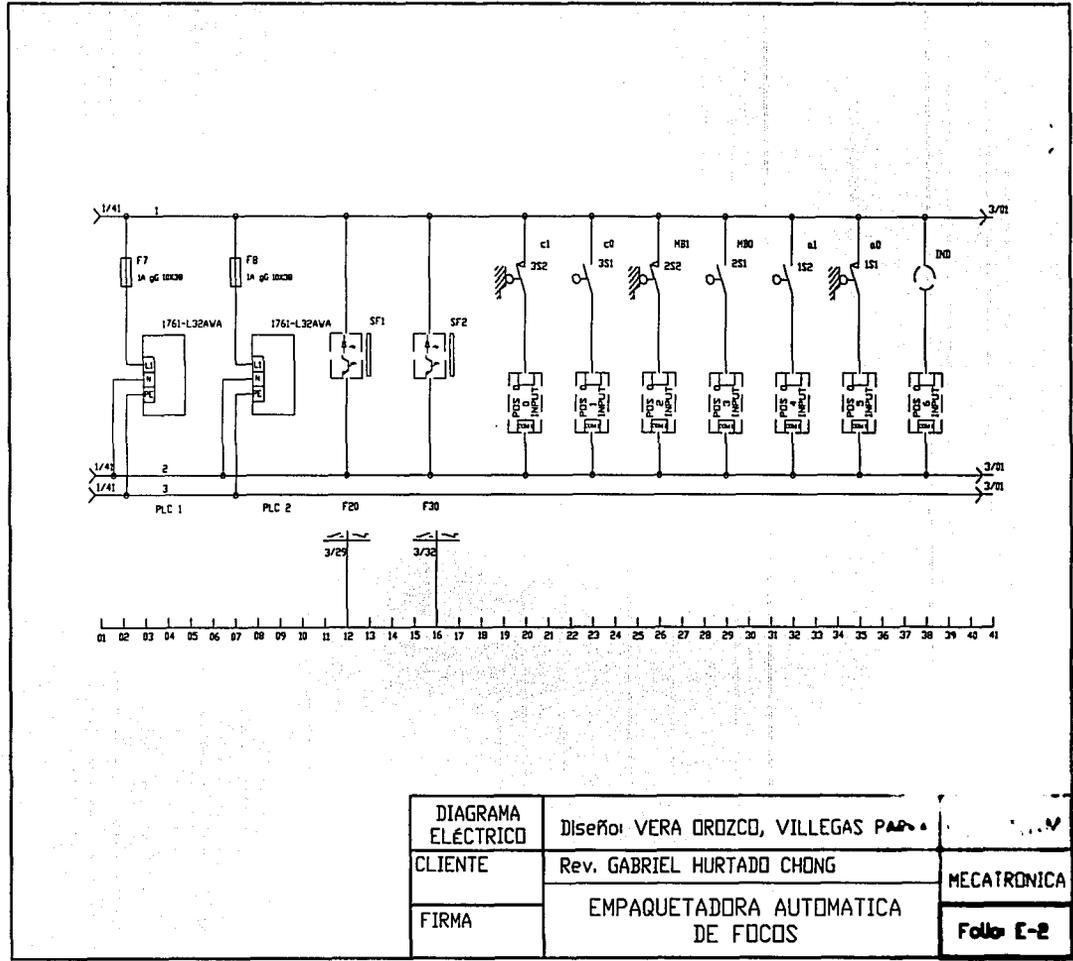


DIAGRAMA ELÉCTRICO	Diseño: VERA OROZCO, VILLEGAS PARRA	
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCOS	Foja E-2

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

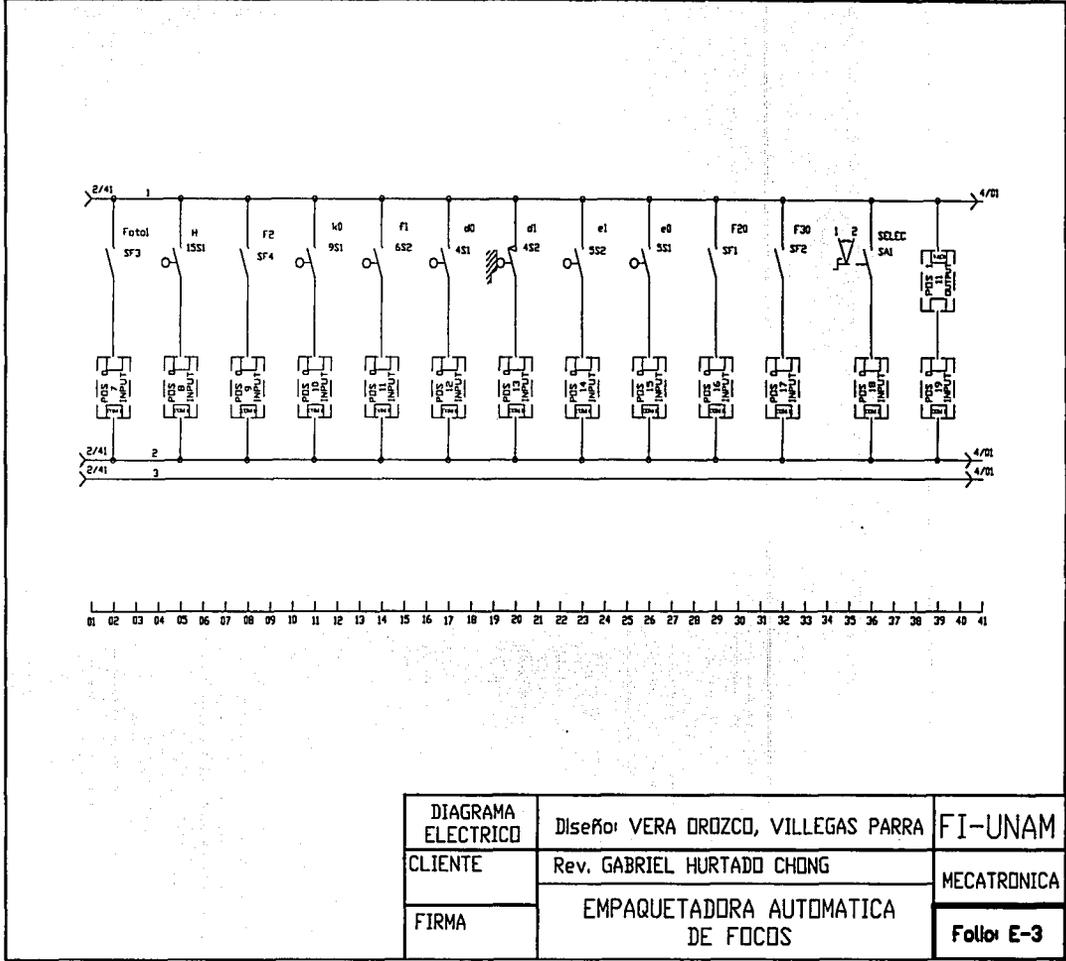


DIAGRAMA ELECTRICO	Diseño: VERA DROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCOS	Folio E-3

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

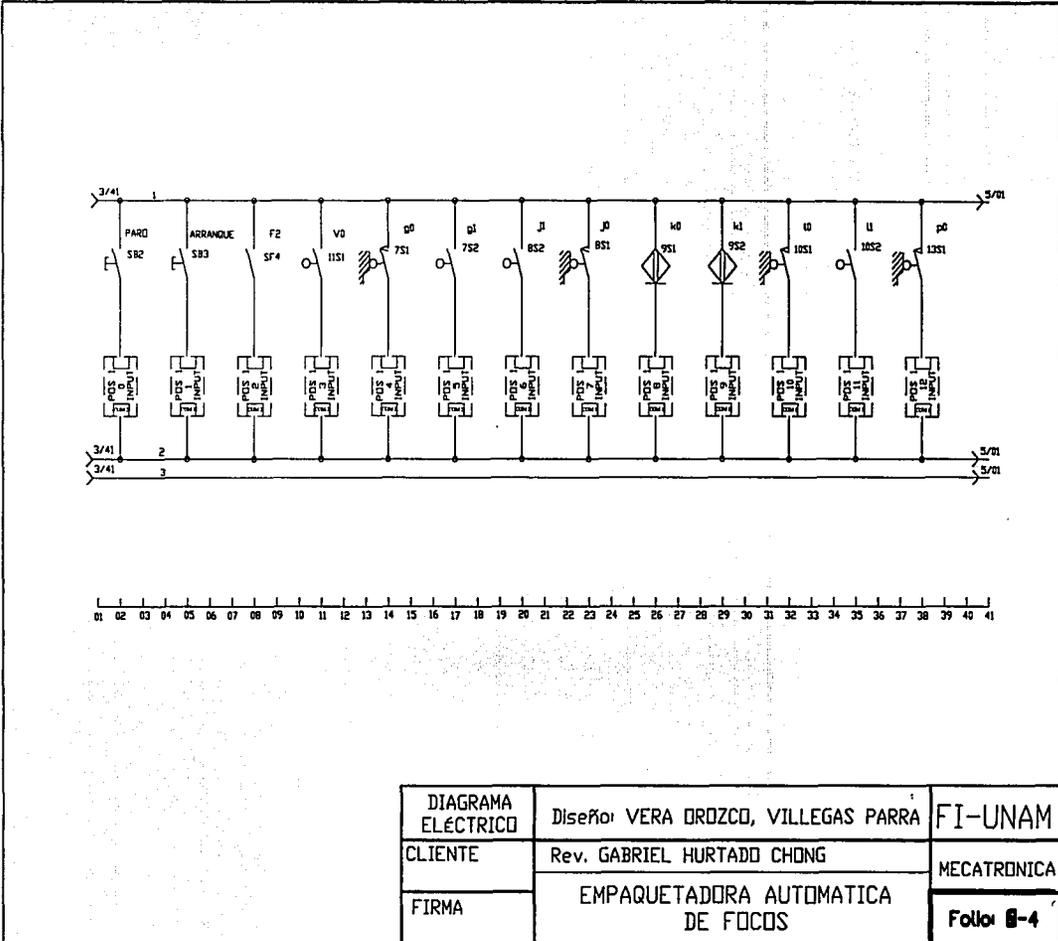


DIAGRAMA ELÉCTRICO	Diseño: VERA DROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCOS	Folio 8-4

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

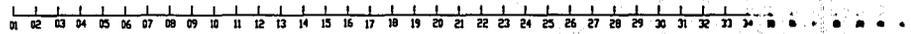
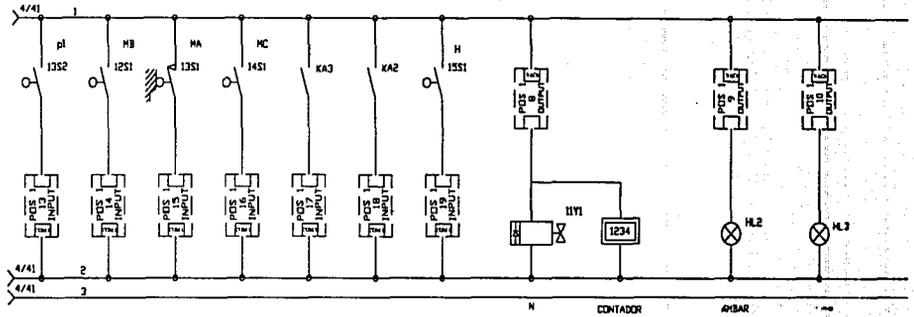


DIAGRAMA ELÉCTRICO	Diseño: VERA DROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMÁTICA DE FOCOS	Folio E-5

TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN

121

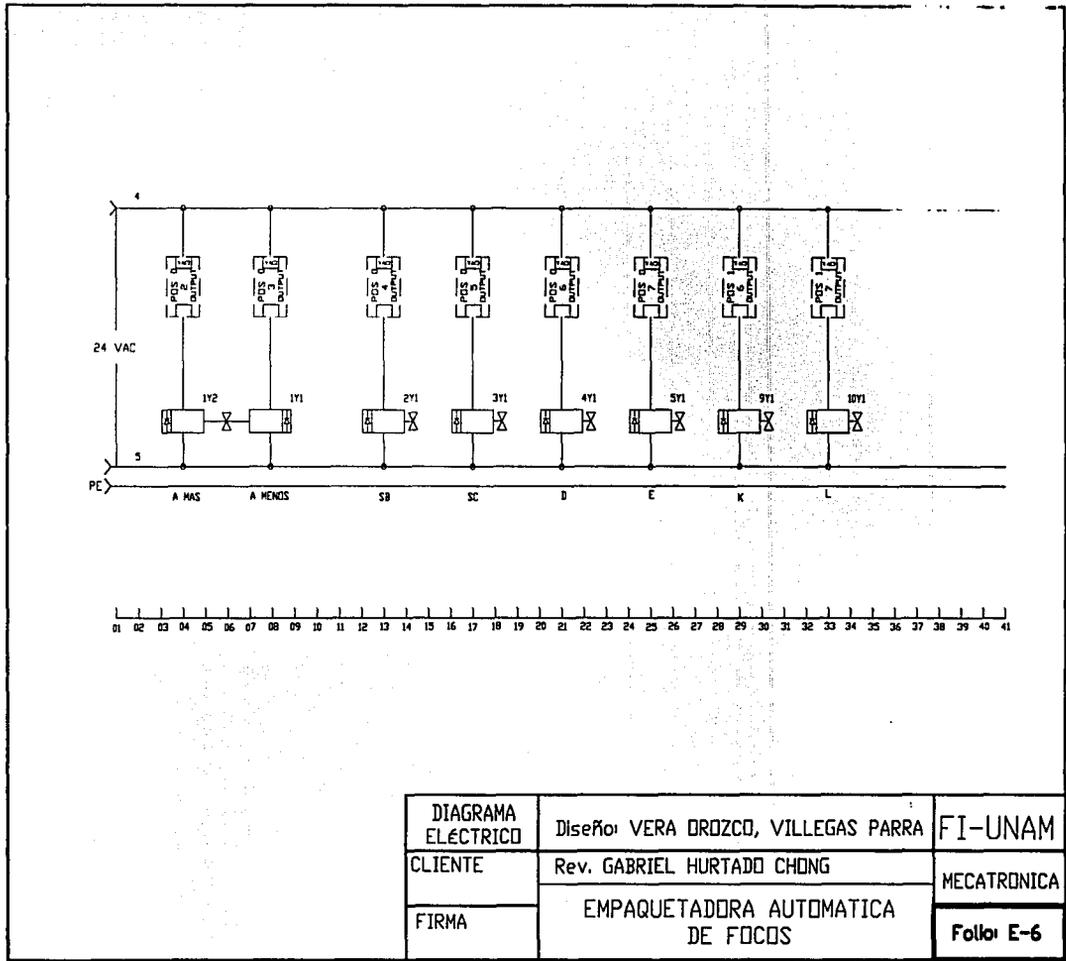


DIAGRAMA ELÉCTRICO	Diseño: VERA DROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCDS	Folio E-6

**TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN**

132

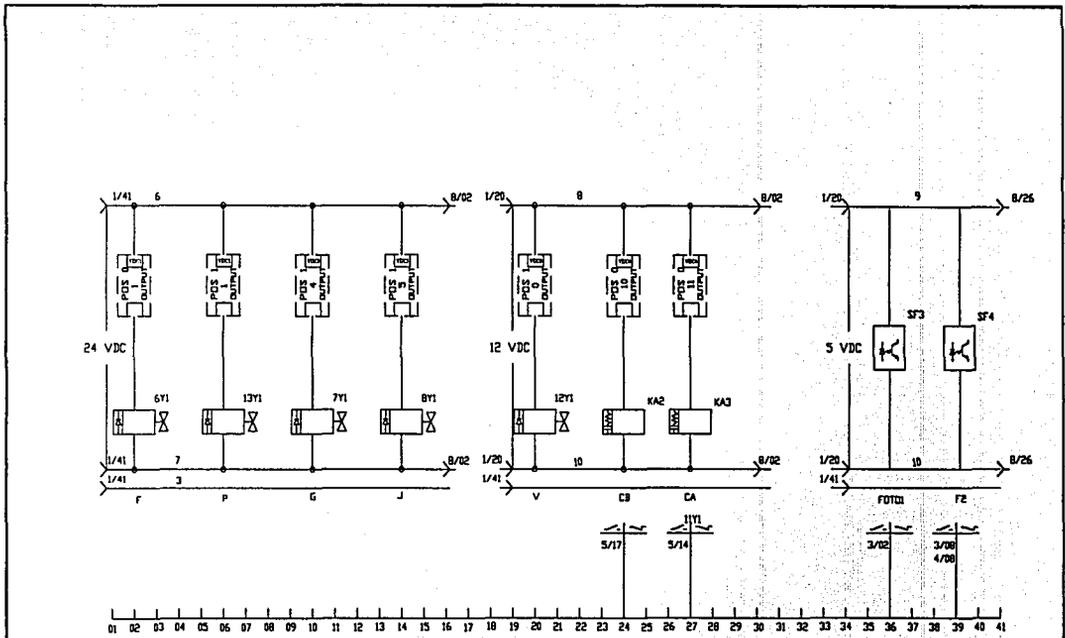


DIAGRAMA ELÉCTRICO	Diseño: VERA DROZCO, VILLEGAS PARRA	FI-UNAM
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	MECATRONICA
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCOS	Folio E-7

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

123

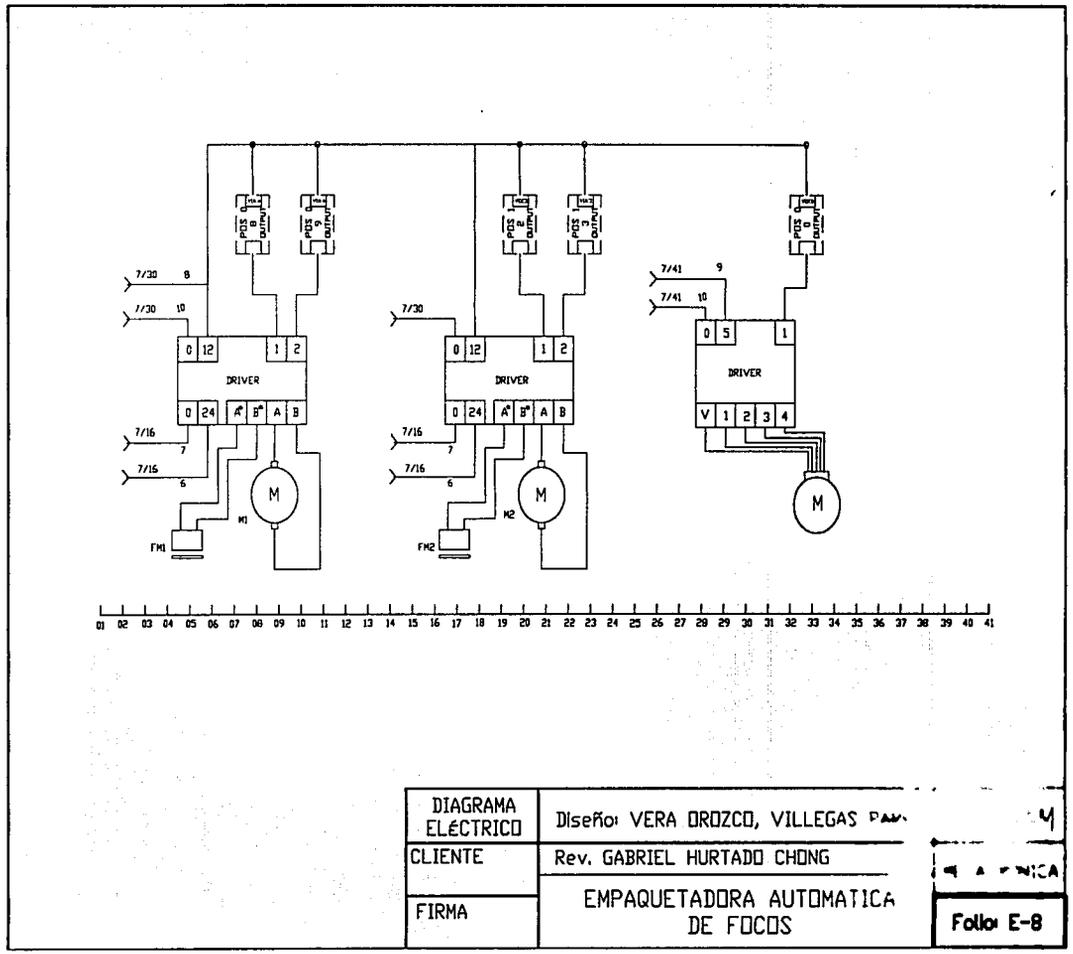


DIAGRAMA ELECTRICO	Diseño: VERA DROZCO, VILLEGAS PAM.	M A P NICA
CLIENTE	Rev. GABRIEL HURTADO CHONG	
FIRMA	EMPAQUETADORA AUTOMATICA DE FOCOS	Folio: E-8



## CAPÍTULO 5

### Conclusiones

Lo primero que hay que recalcar es el hecho de que se trata de un prototipo, y no de una máquina como tal, construida bajo las condiciones ideales. Esto quiere decir que por diversas razones, hemos tenido que ingeniarlas para resolver problemas o situaciones, a pesar de que hoy en día se cuenta con elementos que nos habrían simplificado el desarrollo del prototipo.

Sin embargo, lo esencial se ha cumplido. Esto es, los objetivos fueron alcanzados. Se diseñó y se construyó el prototipo capaz de empaquetar de manera automática focos industriales en dos presentaciones distintas (cajas de 20 y 30 focos). Además, se partió de los conceptos de la mecatrónica y del diseño para lograrlo. Es importante mencionar que si en el diseño no se hubiese tenido un enfoque mecatrónico, la realización del prototipo se habría complicado bastante. Desde el diseño de las piezas mecánicas debe tomarse en cuenta los sensores, los actuadores, el control, etc, para así conseguir simplificar y hacer el trabajo más eficiente.

En segundo lugar es también importante decir que se contó con limitaciones económicas. Se recibió mucho apoyo por parte de la escuela en cuanto al uso de equipo y laboratorios. A pesar de esto, no contábamos con el material y el equipo suficiente. En este sentido fue necesario considerar siempre las opciones de menor costo dentro de nuestro diseño. Por lo mismo, habrá elementos dentro del prototipo que parezcan muy rebuscados. Un ejemplo muy claro de esto es el manipulador neumático. Para conseguir los dos grados de libertad que tiene la pinza fue necesario utilizar dos actuadores neumáticos (o cilindros). Uno efectúa el movimiento vertical hacia arriba y hacia abajo, mientras que el otro realiza el movimiento rotatorio a 180°. Para acoplar dichas piezas fue necesario maquinar una pequeña estructura, que además resultó muy complicada. Todo esto pudo ser evitado de haber contado con un actuador que realice ambos movimientos; el vertical y el rotatorio. Es así como nos afecta el aspecto económico.

También nos vimos un tanto limitados por utilizar el equipo y material con que ya se contaba. Los sensores y algunas válvulas fueron proporcionados por la escuela. A algunos elementos hubo que hacerles mantenimiento, y a otros hubo que adecuarse, pues en muchas ocasiones no eran lo que se hubiera deseado. Sin embargo todos estos "problemas" nos han dejado una enseñanza muy grande, ya que en la vida de todo ingeniero uno se topa con los problemas de funcionalidad en función del costo.

Una parte muy importante en el diseño es el surgimiento de ideas. Al proponerse diversas soluciones para resolver un problema dado, surgen tanto ideas buenas, como malas. Pero más allá de eso, en otras ocasiones hay ideas que parecen malas pero son buenas y viceversa. Nos dimos cuenta que el trabajo en equipo facilita el desempeño de una actividad, pero sobre todo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



lo mejora y entrega mejores resultados. Así como en la mecatrónica es fundamental la conjunción de la mecánica, electrónica y computación, las ideas en conjunto suelen ser bastante mejores que cuando se dan de forma aislada.

Los PLC's utilizados para el control del prototipo son pequeños. Se contaba con un número reducido de entradas y salidas. Este problema tuvo que ser resuelto sobre la marcha de la construcción de la máquina, pues fue cuando nos percatamos que el número de entradas entregadas por los sensores, así como también las salidas, eran excesivas para un solo PLC. De esta forma se llegó a la propuesta de utilizar dos controladores. De cualquier forma esto arrojó también el problema de la comunicación entre ambos PLC's. Aunque el funcionamiento del prototipo no se vio afectado en ningún sentido, si debemos recalcar que lo ideal en este tipo de situaciones es seleccionar un PLC adecuado. Para la aplicación que requeríamos, un PLC modular habría sido una gran opción, pues los módulos se comunican por medio del rack, y las entradas y salidas con las que se cuenta son suficientes. Sin embargo este tipo de PLC's es muy costoso, y decidimos emplear lo que ya disponíamos.

Lo ideal también es tener una línea de empaque completa en todos los sentidos. Se puede decir que el prototipo está "incompleto", pues aunque es capaz de empaquetar los focos, se propone como proyecto futuro el que las cajas pudieran ser ensambladas de manera automática dentro de la línea. En la industria no es común recibir los corrugados doblados y listos para ser utilizados, ya que su volumen crece mucho, y el manejo y la distribución de los mismos se complica enormemente.

También se propone realizar un sellado más confiable después de cerrar las cajas llenas de producto. Lo acostumbrado a nivel industrial es usar cintas adhesivas, o sellados térmicos, para no tener ningún problema en la manipulación del producto.

Además, como se mencionó en el primer capítulo, el embalaje tiene también por función la de vender el producto. Dentro de la misma línea es posible implementar un sistema para marcar las cajas y así identificar y promover la mercancía. Todo esto puede servir como base para proyectos futuros, y es fundamental mencionarlo, pues de lo contrario sería como desconocer una necesidad que arroja el diseño. Por lo mismo, el que nosotros no hayamos desarrollado dichos sistemas no es por desconocimiento, sino porque escapa los alcances de nuestro trabajo.

En lo que se refiere a estética, se debió esconder todo el alambrado producido por los elementos eléctricos y neumáticos. Esto se realiza metiendo todo cable por medio de tubos, canales, protecciones para facilitar el paso de los cables en el chasis, proteger e impedir interferencias con el movimiento de la máquina. Una vez más, el factor monetario nos limitó a simplemente cablear de manera muy ordenada y fijar todo al chasis, de forma tal que no provocara ningún problema. También se aisló minuciosamente para evitar toques, y se utilizaron clemas para facilitar la distribución y la identificación de los cables.

El simulador de la línea de producción de los focos es muy rudimentario. Sin embargo, debimos enfocarnos específicamente a la línea de empaque, pues la otra ya existe y por tanto

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



no representa una necesidad del diseño. Es muy tedioso y ~~llegar~~ cargar el disco con 200 focos cada vez que se quiere hacer funcionar el prototipo. ~~para~~ fines de demostrar el funcionamiento de la línea funciona de manera excelente. ~~Además~~ en el disco pueden colocarse otro tipo de objetos con formas similares a los ~~objetos~~ y ser empacados de manera aceptable por la máquina. Inclusive, la versatilidad ~~de~~ en este sentido es de llamar la atención, pues con las cajas adecuadas podemos empacar productos muy distintos.

Se tuvo la oportunidad de presentar el prototipo en la exposición ISA Expocontrol 2003, que se llevo a cabo en la Ciudad de México y a la que asistieron varias empresas especializadas en el ramo de la automatización industrial. En esta exposición se realizaron varias demostraciones y pruebas del prototipo gracias a las cuales pudimos detectar y corregir diversos errores tanto en la programación como en el sistema mecánico. El prototipo despertó gran interés en los asistentes a la exposición y recibimos criticas y sugerencias que nos ayudaron a tener una visión más amplia de lo que es un proceso industrial completo. Entre dichas sugerencias destacaron: la implementación de un sistema de calidad automático que supervise el buen funcionamiento del proceso, la integración de sistemas ya construidos que simplificarían el diseño y manufactura de la máquina, y por supuesto el uso total de una marca.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Bibliografía**

1. Embranos Nistal Florencio Jesús, Automatismos Eléctricos, Neumáticos e Hidráulicos, Ed. Paraninfo, Madrid España 1999., Pág. 3-6.
2. Boltan, Mecatrónica, Sistemas de Control Electrónicos en Ingeniería Mecánica y Eléctrica. 2ª. ed. Ed. Alfaomega. España. 2001.
3. Salvador Millán, Cálculo y diseño de circuitos en aplicaciones neumáticas, Ed. Alfaomega, Santa Fe de Bogotá. 1998
4. Salvador Millán, Automatización Neumática y Electroneumática, Ed. Alfaomega, Santa Fe de Bogotá. 1995
5. Vicent Lladorosa, Circuitos básicos de Electroneumática, Ed. Alfaomega, Santa Fe de Bogotá. 1998
6. A.Serrano Nicolás, Diseño Mecánico, Ed. Paraninfo, Madrid España. 1998
7. Katsuhiko Ogata, Ingeniería de Control Moderna, 3º edición, Ed. Pearson Educación, México 1998
8. Morris Mano M., Lógica Digital y Diseño de Computadores, Ed. Prentice-Hall, México 1992.
9. Kùhme Günther, Envases y Embalajes Barcelona, Ed. Gustavo Gil, España, 1976.
10. Di gioia Miguel Ángel, Envases y Embalajes como Herramienta para la Exportación, Ed. Macchi, España 1995
11. Mabie, Mecanismos y dinámica de maquinaria, 7ª edición, Ed. Limusa, México 1995
12. Manual "Micrologix 1000 con programador manual", Allen Bradley
13. [www.festo.com](http://www.festo.com)
14. [www.parker.com](http://www.parker.com)
15. [www.boschrexroth.com](http://www.boschrexroth.com)

