



# **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

---

---

**Facultad de Ciencias de la Electrónica**

**Sistema Electrónico de Inspección de Color en  
Preformas de PET**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:

**Licenciado en Electrónica**

Presenta:

**Gerardo López Larios**

Asesor:

**Dr. Jaime Cid Monjaraz**



**H. Puebla de Zaragoza a 28 de Noviembre de 2014**

# **Dedicatoria.**

Quiero dedicar el presente trabajo a la memoria de mi padre Lauro (Q.E.P.D), quien con mucho sacrificio me pudo dar acceso a la educación, y que seguramente desde algún lugar estará compartiendo conmigo éste momento.

A mi Madre María de Jesús, por darme la vida, por su sacrificio y apoyo incondicional en todo momento para que pudiera concluir mi formación universitaria.

A mis hermanos Lauro, Ricardo, Sara y Víctor, mis primeros amigos y motivadores para seguir adelante.

A mi Esposa Telma, por su paciencia, comprensión y apoyo en momentos de flaqueza, por estar siempre a mi lado.

A mis hijos, Paola Itzel, Gerardo y Juan Pablo, quienes son mi fuente inagotable de motivación, y quienes con su presencia han transformado mi vida.

A todos los profesores de la facultad que intervinieron de alguna manera en mi formación académica, y un agradecimiento especial al Dr. Jaime Cid Monjaraz por su invaluable contribución a la realización de éste trabajo.

# ÍNDICE

## Capítulo 1 Introducción a la industria del PET

1.1	Fabricación de la resina PET.....	5
1.2	Introducción a los procesos de inyección y soplado.....	9
1.2.1	Proceso de inyección.....	9
1.2.2	Proceso de soplado.....	14
1.3	Proceso de pigmentación de preforma.....	17

## Capítulo 2 Desarrollo del proyecto tecnológico

2.1	Objetivos.....	21
2.1.1	Objetivo general.....	21
2.1.2	Objetivo específico.....	21
2.2	Justificación .....	21
2.3	Requerimiento y alcance del proyecto.....	22
2.4	Especificaciones técnicas.....	23
2.5	Análisis del proyecto.....	24
2.6	Evaluación y selección de la tecnología.....	26
2.6.1	Conceptos básicos de la señal RGB.....	27
2.6.4	Conversión de una señal analógica en digital.....	28
2.6.3	Selección del sensor.....	30
2.6.4	Conceptos básicos de un PLC.....	31
2.6.5	Selección del PLC.....	32
2.6.6	Listado de material.....	33

## Capítulo 3 Etapa de diseño

3.1	Funcionamiento.....	35
3.2	Diagrama eléctrico.....	36
3.2.1	Panel de control.....	38
3.2.2	Circuito de arranque.....	39

3.3	Programas utilizados.....	42
3.3.1	Conceptos básicos de programación.....	42
3.3.2	Lógica escalera y su cableado.....	43
3.3.3	Desarrollo de programas.....	47
3.4	Explicación del programa 1.....	51
3.4.1	Secuencia del programa 1.....	51
3.5	Explicación del programa 2.....	53
3.4.1	Secuencia del programa 2.....	53
 Capítulo 4 Implementación y puesta a punto		
4.1	Instalación del equipo.....	55
4.1.1	Instalación del gabinete eléctrico.....	56
4.1.2	Instalación de interface y sensor de color.....	57
4.1.3	Ajuste de la posición del sensor.....	59
4.2	Operación.....	60
4.3	Resultados.....	63
4.4	Conclusiones.....	63
Referencias.....		65
Glosario.....		66

# Capítulo 1

## Introducción a la industria del PET

## 1.1 Fabricación de la resina PET.

El PET en la vida diaria tiene múltiples aplicaciones, las más comunes son los envases para agua, bebidas energéticas y carbonatadas, así como artículos de cuidado personal entre otros. Ver figura 1.1

Tiene muchas ventajas sobre el vidrio, no se rompe, es ligero, es transparente y es reciclable.

El proceso de manufactura de los envases de PET inicia con la obtención de la resina PET, la cual además de la aplicación en botellas, también es utilizada para la obtención de fibra para la industria textil.



**Figura 1.1** Resina y botella de PET.

El PET habitualmente se transforma mediante procesos de inyección y soplado con el objeto de producir envases o bien mediante procesos de termoformado si lo que se trata de producir es lámina y por lo tanto envases planos.

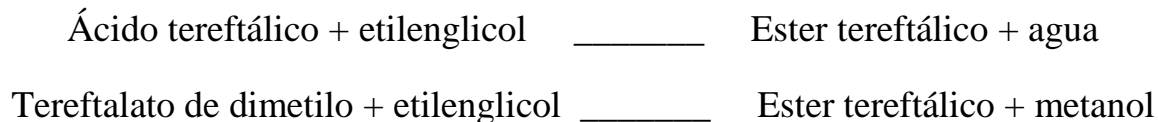
EL PET, que significa Polietilentereftalato, es un polímero plástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Es un polímero lineal, con un alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, lo cual lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, soplado y termoformado.

El PET fue patentado como un polímero para fibra por J.R. Whinfield y J.T. Dickson en 1941. La producción comercial de fibra de poliéster se inició en 1955, desde entonces, el PET ha presentado un continuo desarrollo tecnológico hasta lograr un alto grado de satisfacción basado en el espectacular crecimiento del producto a nivel mundial y la diversificación de sus posibilidades.

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases, especialmente en la producción de botellas, bandejas, flejes y láminas.

El origen del PET es el petróleo y gas natural, de lo que se obtiene paraxileno y etano respectivamente, que a su vez son transformados en ácido tereftálico y etilenglicol.

Existen 2 reacciones básicas para la obtención del poliéster:



En términos químicos, el camino más simple para la obtención del PET es la reacción directa (esterificación) del ácido tereftálico con el etilenglicol formando un monómero (bis 2 hidroxietil tereftalato) el cuál se somete a una policondensación para obtener un polímero de cadena larga que contiene cerca de 100 unidades repetidas.

Mientras que la reacción de esterificación tiene lugar, con la eliminación del agua como subproducto, la fase de policondensación que se efectúa en condiciones de alto vacío, libera una molécula de glicol cada vez que la cadena se alarga por una unidad repetida.

Conforme la cadena va alargándose, existe un aumento con el peso molecular, el cuál va acompañado por un aumento en la viscosidad de la masa y otras ventajas asociadas proporcionando así una mayor resistencia mecánica.

En este proceso se aprovecha que el ácido tereftálico reacciona fácilmente con etilenglicol a temperatura elevada si existen oligómeros de etilentereftalato.

Una vez que la longitud de cadena es suficientemente larga, el PET se extruye a través de un dado de orificios múltiples para obtener un espagueti que se enfría en agua y una vez semisólido es cortado en un peletizador y obtener así el granulado. Ver figuras 1.2 y 1.3

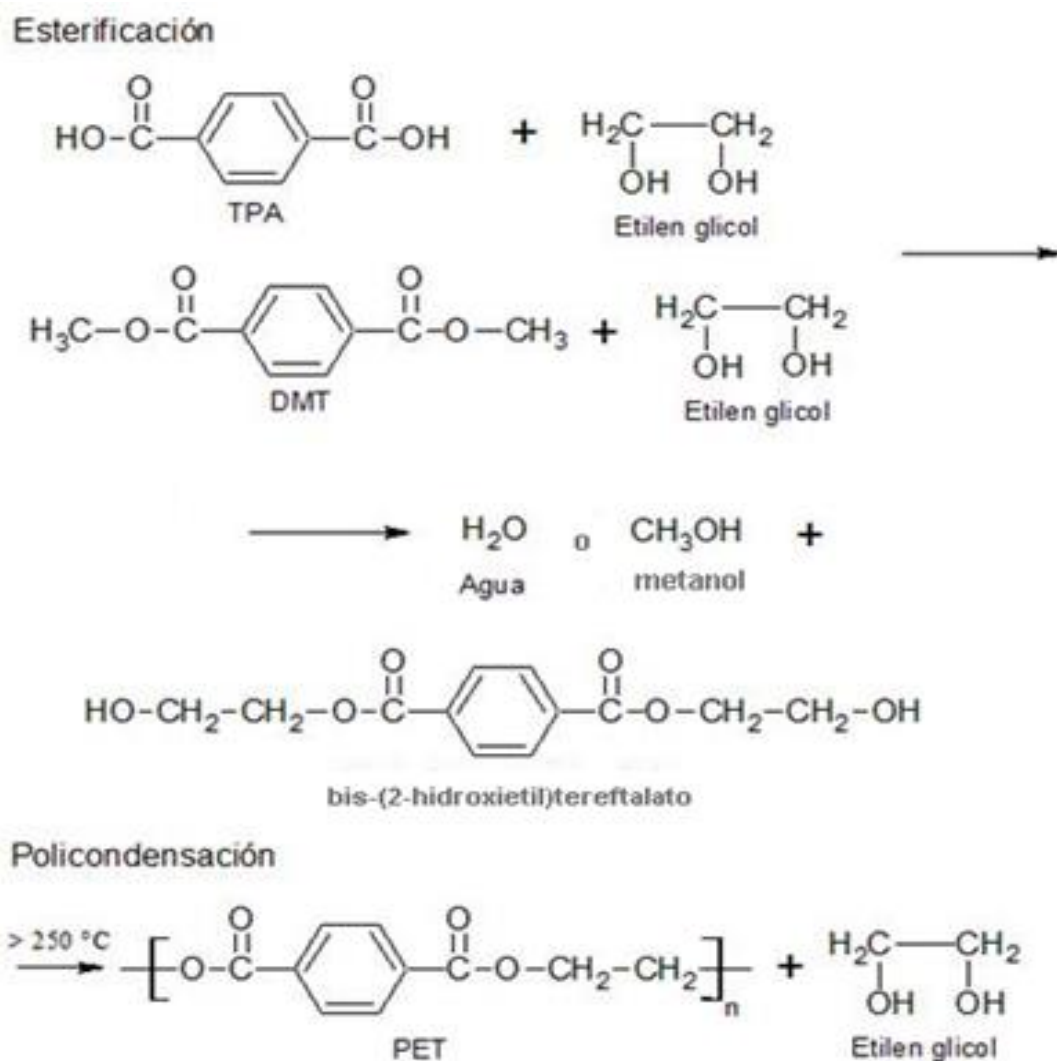


**Figura 1.2** Resina de PET en forma de gránulos (Peletizada).

Este granulado presenta las siguientes características:

- Es amorfo.
- Posee un alto contenido de acetaldehído.
- Bajo peso molecular.
- Es higroscópico.

Estas tres variables limitan el uso del PET en la fabricación de botellas, por lo que se hace necesario hacer pasar al granulado por una última fase, conocida como fase de polimerización sólida, que es donde el granulado se calienta en una atmosfera inerte y por ello pueden ser mejoradas estas tres propiedades en forma simultánea, lo cual se traduce en una mayor facilidad y eficiencia del secado y moldeo de la preforma o bien durante la producción y la calidad de la botella misma. [1]



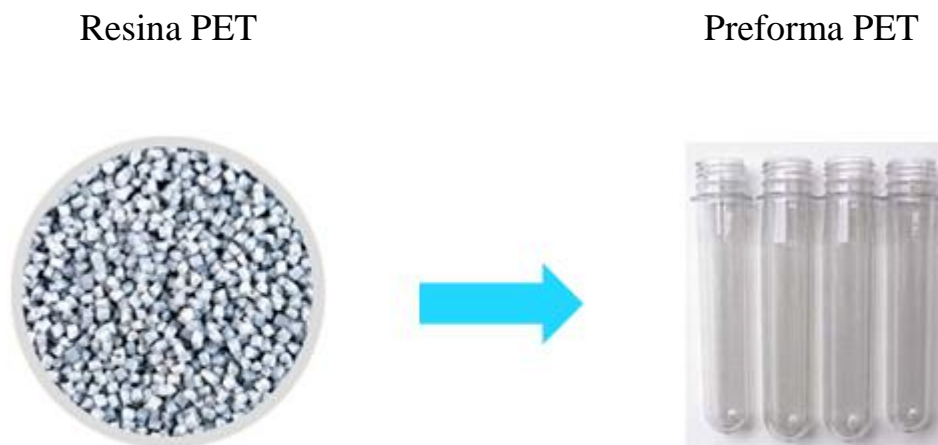
**Figura 1.3** Química del proceso del PET.

## 1.2 Introducción a los procesos de inyección y soplado.

Durante los procesos de inyección y soplado, las moléculas del polímero se biorientan en dos direcciones distintas. En el caso de los envases la orientación tiene lugar según una dirección longitudinal, paralela al eje del envase, y según una dirección transversal al mismo. Es precisamente esta propiedad, conocida como biorientación, la que confiere al PET una elevada resistencia mecánica, lo que unido a su transparencia, hace que resulte un material idóneo para el envasado de productos líquidos. En el caso de los envases obtenidos por termoformado la lámina presenta una estructura reticular casi perfecta que además de su resistencia y baja permeabilidad dota al envase de una gran transparencia.

### 1.2.1 Proceso de inyección.

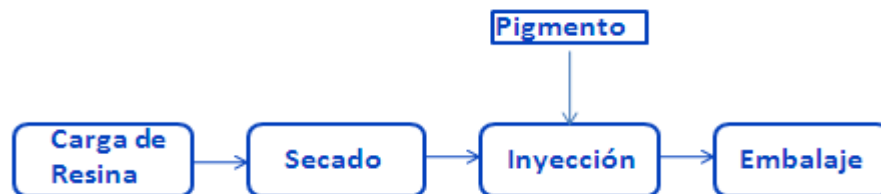
Consiste en la transformación de la resina PET en preforma, a través de un proceso de extrusión. La preforma es una pieza de PET plastificado, transparente, y tiene una forma cilíndrica alargada, redondeada y cerrada en la parte inferior y abierta con la forma de rosca exterior en la parte superior, similar a un tubo de ensayo. Ver figura 1.4



**Figura 1.4** Resina PET y su transformación a preforma.

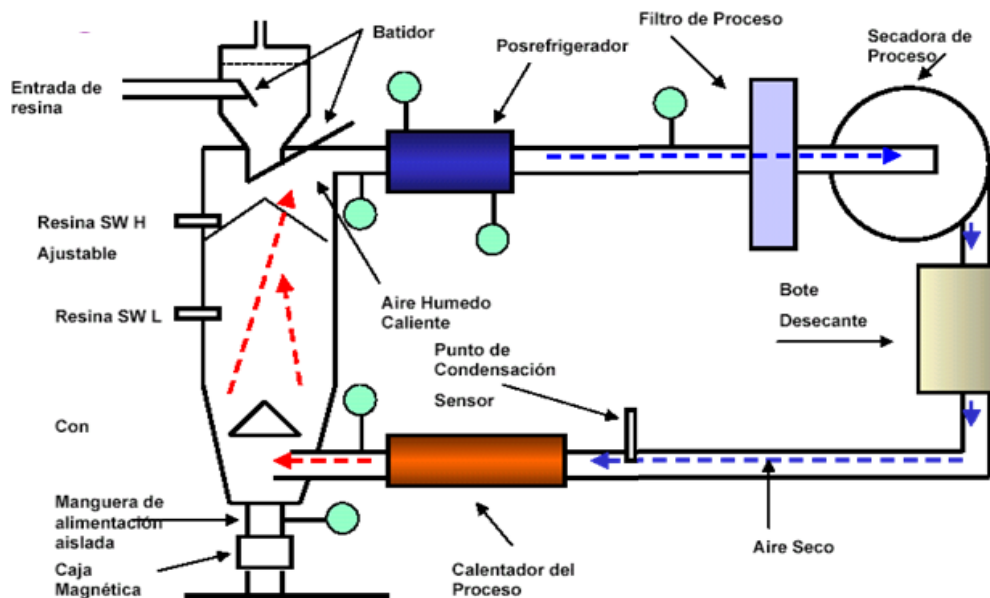
Los equipos a utilizar en éste proceso son:

- Bomba de vacío para el suministro de resina
- Secador de resina
- Máquina de inyección
- Equipo de pigmentación (para preforma de color)



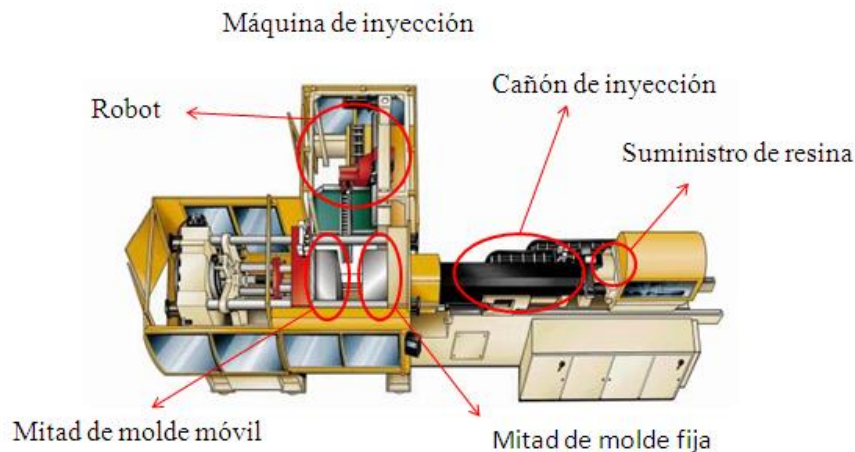
**Figura 1.5** Diagrama de flujo proceso de inyección.

Como se indica en el diagrama de flujo de la figura 1.5, el primer paso consiste en suministrar los gránulos o pellets de PET a una máquina llamada secador, donde por medio de flujo de aire seco y resistencias calefactoras son calentados a 180°C por un tiempo de 6 horas con el propósito de extraer la humedad, (ver figura 1.6) ya que una de las características del PET es ser higroscópico por lo que tiene una alta humedad, la cual no permite tener un proceso de biorentación adecuado en el soplado, de ahí la importancia de eliminar la humedad.



**Figura 1.6** Esquema básico del proceso de secado de resina PET.

Posteriormente los pellets secos ingresan a la máquina de inyección de preforma donde son sometidos a un proceso de calentamiento de  $280^{\circ}\text{C}$  para ser fundidos, esto sucede en el cañón de inyección en cuyo interior aloja un husillo para el desplazamiento de material y en el exterior tiene resistencias calefactoras, las cuales transfieren su calor a la resina, la boquilla del cañón es colocada en la entrada del molde y de ésta manera es posible inyectar el material fundido al interior del molde. Ver figura 1.7

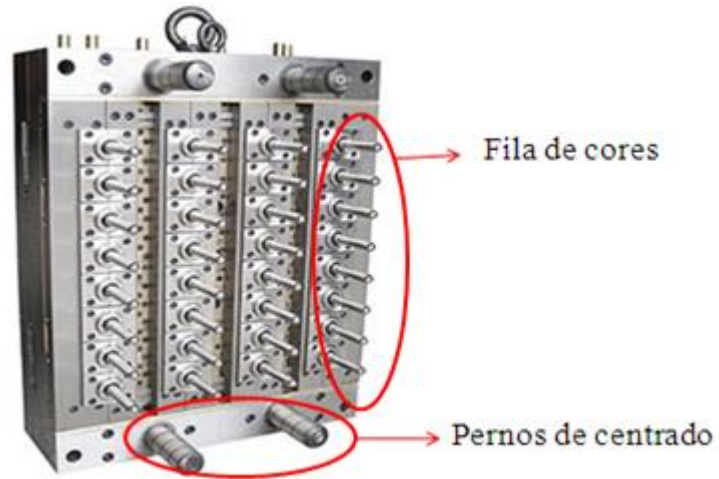


**Figura 1.7** Esquema típico de una máquina de inyección.

El molde se le llama de colada caliente debido a que tiene también resistencias calefactoras que ayudan a mantener la resina caliente mientras viaja en su interior y permitir llenarlo en su totalidad, normalmente tiene de 32 a 144 cavidades, después las preformas ya formadas son enfriadas con un sistema de refrigeración de agua fría a  $10^{\circ}\text{C}$ .

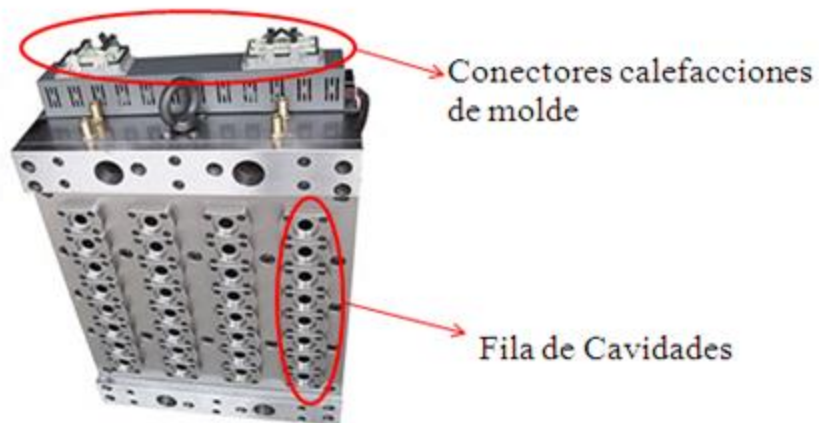
El molde se compone de dos mitades, la primera llamada placa de cores que es la parte móvil, y la segunda placa es la de cavidades, ambas placas son montadas en la prensa de la máquina inyectora en las platinas móvil y fija respectivamente, de tal manera que durante el proceso de inyección el molde se encuentre cerrado y posteriormente abra permitiendo el ingreso del robot para hacer el proceso de expulsión y toma de preforma. Ver figuras de 1.8 a 1.10

Mitad de molde móvil, placa de 32 Cores (Machos).



**Figura 1.8** Molde de inyección, mitad de Cores.

Mitad de molde fija, placa de 32 cavidades.



**Figura 1.9** Molde de inyección, mitad de cavidades.

Cavidad vacía

Cavidad en proceso de llenado

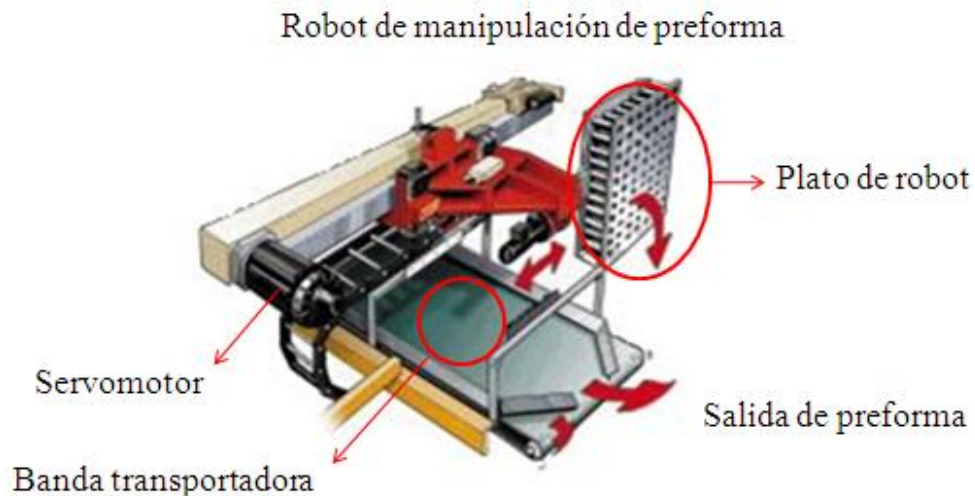
Preforma terminada



**Figura 1.10** Vista lateral del proceso de inyección en una cavidad.

Por último, como se observa en la figura 1.11, un sistema robotizado de extracción de piezas toma las preformas del molde cuando éste abre, las refrigera, solidificándolas y las coloca en una banda transportadora automática, que finalmente las deposita en una caja de producto terminado. El proceso de inyección puede durar de 12 a 20 segundos dependiendo del diseño de la preforma.

El robot tiene la capacidad de desplazarse en dos ejes, en un primer movimiento se desplaza sobre el eje X desde su posición de inicio hasta el interior del molde una vez que recibe la señal de confirmación del PLC de que el molde está abierto, toma las piezas y regresa a su posición de inicio, durante éste movimiento el plato del robot se mantiene en forma horizontal, cuando recibe la señal de confirmación de que las preformas han sido enfriadas, el plato del robot girar sobre el eje C para colocarlo en posición horizontal y expulsar las preformas a la banda transportadora. Este proceso se repite cada ciclo de producción. [2]



**Figura 1.11** Esquema de Robot para extracción de preformas.

### 1.2.2 Proceso de soplado.

Las preformas aún difieren mucho de parecer una botella, tienen una forma similar a un tubo de ensayo, con una pared gruesa y son materia prima para la etapa de soplado. El finish o cuerda de la preforma ya no cambia su forma, el cuerpo de la preforma después del soplado adoptará la forma de la botella. Ver figura 1.12

Este proceso se aplica a la producción de envases que requieren orientación molecular bi-axial (biorientadas). Esta biorientación provee una mejora en las propiedades físicas, claridad o transparencia y mejores propiedades de barrera para los gases, las cuales son todos atributos exigibles en las botellas destinadas a bebidas gaseosas y en general a productos líquidos comestibles (aceite, agua mineral, vinagre, etc.).



**Figura 1.12** Transformación de preforma de PET en botella

El equipo a utilizar en éste proceso es:

- Máquina de soplado

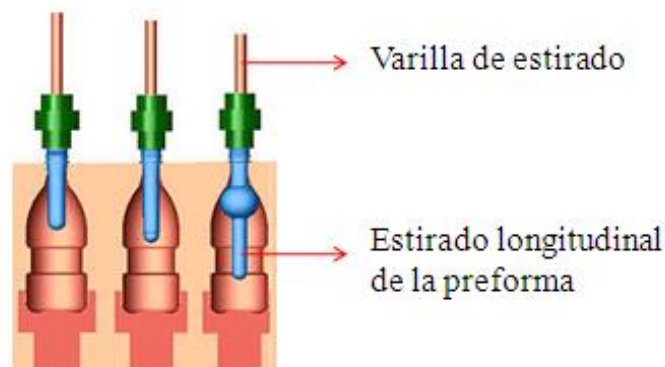


**Figura 1.13** Diagrama de flujo proceso de soplado.

En el área de soplado las preforma son en primer lugar suministradas al horno de la máquina sopladora, en donde alcanza temperaturas de 120°C, el objetivo es distribuir el calor de una manera uniforme a lo largo del cuerpo de la preforma para facilitar su forma final en la etapa de soplado, a esta temperatura el PET es deformable, gomoso y elástico y se mantiene amorfo durante el tiempo suficiente para desarrollar la forma deseada y provocar el crecimiento de la botella en altura y diámetro.

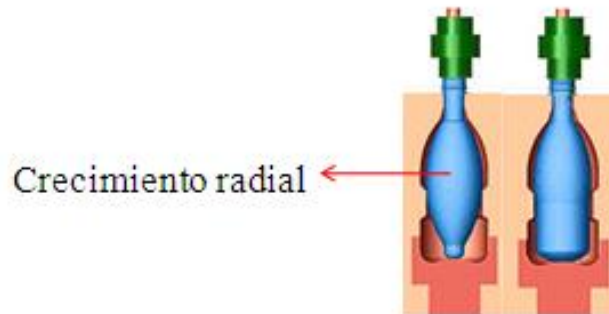
Enseguida pasan a la rueda de soplado en donde por medio de un sistema de brazos de transferencia son colocadas dentro de los moldes de soplado, aquí la formación de la botella se da en tres pasos:

**Estirado.-** Mediante vástagos de acero que se introducen por el cuello de la preforma, se provoca el estiramiento en el sentido longitudinal de la preforma hasta alcanzar casi la altura total del envase. Es altamente recomendado poder controlar la velocidad de estirado para dar tiempo a la orientación molecular y no provocar el desgarro del material. Ver figura 1.14



**Figura 1.14** Etapa de estirado.

**Pre-soplado.-** Como se observa en la figura 1.15, simultáneamente con la introducción de los vástagos o varillas de estirado, se introduce aire de baja presión (6 a 12 bares) lo que acompaña el proceso de estirado longitudinal y va provocando en forma simultánea el crecimiento del diámetro (estiramiento radial).



**Figura 1.15** Etapa de pre-soplado, botella parcialmente formada.

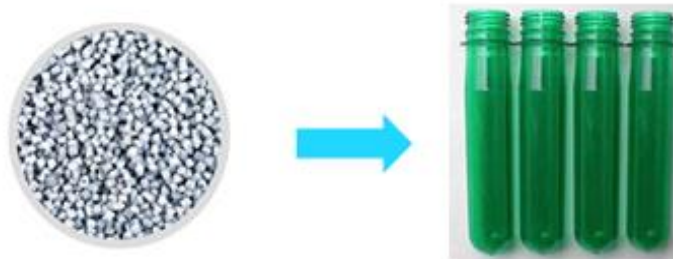
**Soplado.-** Por último se introduce aire comprimido seco a 40 bares, lo que provoca el moldeo del material PET contra el molde con la geometría deseada. El contacto del material con el molde que se encuentra refrigerado por agua a 10°C, lo vuelve rígido y se detiene el proceso de biorientación.



**Figura 1.16** Etapa de soplado, botella completamente formada.

### 1.3 Proceso de pigmentación de preforma.

Para ello debemos remitirnos al proceso de inyección el cuál se detalló ampliamente en el punto 1.2 de éste capítulo, sólo se debe agregar un equipo adicional el cuál realizará el suministro y mezcla del pigmento de acuerdo con el color deseado.



**Figura 1.17** Transformación de resina PET en preforma de color.

Para la producción de preformas de color, se puede utilizar un equipo de dosificación volumétrica o gravimétrica de pigmento en gránulos en la entrada de la máquina, o bien un equipo dosificador de pigmento líquido. Ver figura 1.18



**Figura 1.18** Componentes del equipo de pigmentación.

El equipo se complementa con un mezclador, el cual consiste en una tolva en cuyo interior tiene una aspa, la cual es accionada por un motorreductor, y una cánula por donde ingresa el pigmento líquido, el mezclador se instala justo donde ingresa la resina a la máquina de inyección, la intención es realizar la mezcla de resina y pigmento antes de ingresar a la máquina. Ver figura 1.19



**Figura 1.19** Componentes del mezclador de resina.

El primer paso para la pigmentación de la preforma es tener la especificación del color, debe indicar el porcentaje y color a emplear, con esta información se calibra el equipo de pigmentación, el porcentaje está directamente relacionado con el tono de color a mayor porcentaje más intenso será el color. Ver figura 1.20

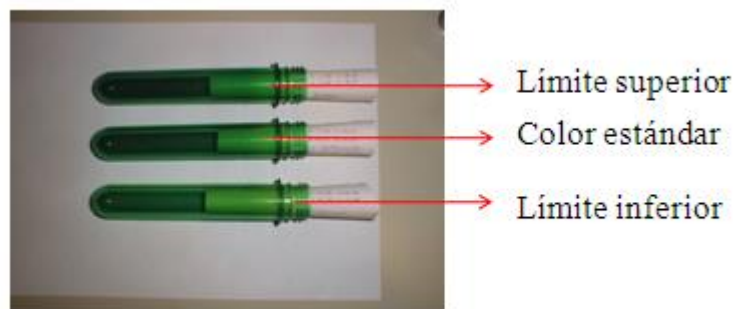


**Figura 1.20** Calibración del equipo de pigmentación.

El segundo paso es encender el equipo mezclador para realizar una mezcla homogénea de la resina con el pigmento líquido, el material ya mezclado se suministra a la máquina y de esta manera comenzar a pigmentar la preforma, después de 10 ciclos de producción se considera que el pigmento ha alcanzado su nivel óptimo de mezcla, en éste punto el tono de color que se manifiesta en la preforma se considera como el estándar de color de acuerdo al porcentaje ingresado al equipo.

El tiempo de suministro de pigmento está sincronizado con el tiempo de transferencia de resina por el husillo en la inyectora.

En esta parte del proceso se establecen los límites superior e inferior para el tono del color, ver figura 1.20, por último el estándar de color se valida en un equipo de laboratorio llamado colorímetro ya que dicho estándar se tomará como patrón para futuras producciones.



**Figura 1.21** Límites del estándar de color.

Este procedimiento se realizará en cada inicio de producción, durante la producción normal el operador de la máquina valida de forma visual una vez por turno que no haya variación de tono, en caso de existir alguna desviación toma acciones para corregir.

# Capítulo 2

## Desarrollo del proyecto tecnológico

## **2.1 Objetivos.**

El desarrollo del presente proyecto tecnológico considera lo siguiente:

### **2.1.1 Objetivo general.**

Inspeccionar el color de la preforma PET en el proceso de fabricación, utilizando un PLC y sensor fotoeléctrico de reconocimiento de color.

### **2.1.2 Objetivo específico.**

Se diseñará e implementará un sistema electrónico de inspección de color de preforma PET, para utilizar en máquinas de inyección de PET de la serie G, con una capacidad de producción de 36000 piezas por hora, moldes de colada caliente de 48 a 144 cavidades, y con sistema de expulsión de preforma por robot.

## **2.2 Justificación.**

Este proyecto será desarrollado para ser utilizado en el proceso de manufactura de preformas de color de PET, cuyo proceso de coloración tiene una ventana de control muy reducida, por lo que la variación del tono de color, es una de las principales causas de desperdicio.

Para máquinas de Inyección que tiene una capacidad de producir 36000 piezas por hora resulta imposible verificar de forma manual si el color está dentro del estándar de color en el 100% de la producción, por ello resulta de gran utilidad el contar con un sistema automático que pueda inspeccionar el color de la preforma en cada ciclo de producción, y si existe una desviación respecto del estándar, alertar de forma oportuna y de ésta manera evitar pérdidas económicas importantes.

### **2.3 Requerimiento y alcance del proyecto.**

Como se ha expuesto, una de las principales causas de scrap (producto no conforme) en el proceso de inyección de preforma de color es la variación de tono de color, durante el proceso de manufactura el operador de la máquina valida el color en la preforma sólo una vez al turno, por lo que la posibilidad de que se genere producto fuera de la especificación es muy alta.

El proceso de inyección de preforma en color por su propia naturaleza tiene una alta probabilidad de no realizar una mezcla homogénea del pigmento con la resina, siendo las causas más comunes, grumos en el pigmento, cánula obstruida parcialmente lo que hace inconsistente el suministro de pigmento, y exceso de revoluciones en el husillo entre otras, por ésta razón surge la siguiente necesidad.

Desarrollar e implementar un sistema de inspección electrónico que de forma automática valide que el color de la preforma cumple con la especificación del patrón estándar, debe sustituir la inspección actual del operador que realiza dicha actividad una vez al turno, por una inspección en el 100% de los ciclos de producción.

Se debe integrar la tecnología existente enfocados al bajo costo y alta eficiencia, debe ser seguro y de fácil operación, y capaz de ser instalado en cualquier modelo de máquina de inyección.

El alcance de éste proyecto será alertar al operador de una desviación en el color y actuar de forma rápida para corregir el proceso, sin embargo puede ser escalable a un sistema automático de lazo cerrado, esto queda a consideración de la empresa en etapas futuras, ya que de acuerdo con su experiencia operativa el corregir de forma automática la desviación en color generaría una cantidad mayor de desperdicio de material en comparación con un ajuste manual. El beneficio más importante de éste proyecto que se traduce en beneficios económicos, es ser alertados de forma oportuna de alguna desviación en el proceso de pigmentación.

## **2.4 Especificaciones técnicas.**

El sistema de inspección electrónico será diseñado para activar una alerta en caso de presentarse alguna variación de color en el proceso de inyección, y de ésta manera el operador de la máquina evitará que lleguen preformas con éste defecto a la caja de producto terminado.

La complejidad del funcionamiento de la máquina de inyección hace que sea necesario el contar con un control maestro del sistema de inspección.

Utilizará un sensor de reconocimiento de color, el cual tendrá la capacidad de grabar un color de referencia y después comparar los siguientes muestreos contra el color previamente grabado.

El sensor deberá ser instalado en un lugar de la máquina donde no afecte su funcionamiento, y que no interfiera con actividades de mantenimiento y limpieza de la misma, y que asegure la correcta inspección del color de la preforma en cada ciclo de producción.

El control maestro del sistema contará con un programa que utilizará la información del sensor de reconocimiento de color y las señales de salidas del PLC de la máquina inyectora que se consideren necesarias, y de acuerdo al procesamiento lógico de dicha información activará las salidas necesarias para dar aviso de alguna desviación en el color mediante alarmas luminosa y audible.

El sistema de inspección electrónico contará con un tablero de control que será instalado en la máquina de inyección, en un lugar visible y de rápido acceso para el operador, deberá contar con botón selector para energizar el equipo, un botón pulsador con lámpara piloto de encendido, un botón para silenciar las alarmas, así como una torreta de alarmas visual y audible.

La alimentación del tablero de control será obtenida de la máquina inyectora para evitar el gasto de una fuente externa.

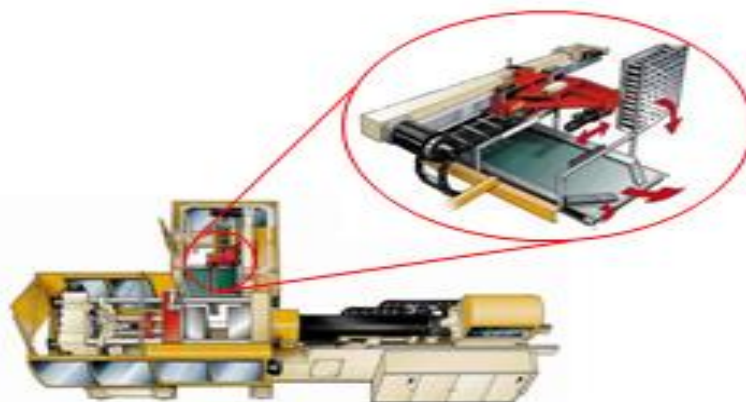
## 2.5 Análisis del proyecto.

Una vez que se tiene clara la necesidad y alcance del proyecto es importante realizar el análisis del proceso de manufactura para determinar en que punto del proceso debe ser muestreado el color de la preforma.

Como se explicó en el punto 1.2 del capítulo anterior, una vez que la preforma es expulsada por el robot, cae en una banda transportadora la cuál lleva la preforma a la caja de producto terminado, en ésta parte del proceso no hay opción de muestrear la preforma, ya que su desplazamiento es aleatoria y a granel, esto nos lleva a enfocarnos en la parte del proceso cuando abre el molde y entra el robot para tomar las preformas.

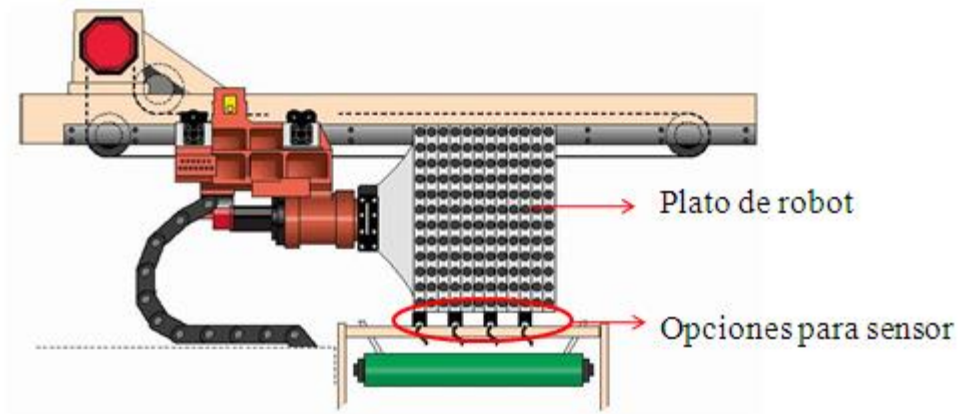
Recordemos que la máquina de inyección está conformada por la unidad de inyección, la unidad del cierre, unidad del robot, y sistema de control.

Es un equipo completamente automatizado donde cada una de las partes mencionadas cuentan con acceso limitado, y por la naturaleza de la máquina y lo expuesto anteriormente se considera que el mejor lugar para hacer la inspección de la preforma es en la unidad del robot, ver figura 2.1, la intención es utilizar el funcionamiento natural del robot, justo cuando el plato se coloca en posición horizontal permaneciendo en dicha posición por algunos segundos, este tiempo debe ser suficiente para que un sensor realice el muestreo del color.



**Figura 2.1** Unidad de Robot.

De inicio se había considerado más de un sensor para realizar el muestreo, sin embargo al realizar un análisis del funcionamiento del robot, encontramos que la cantidad de preformas que puede tener el plato del robot es una relación de 3 a 1 respecto al molde, dicho en otras palabras, si el molde tiene 32 cavidades el plato del robot puede contener hasta 96 preformas, esto significa que un solo sensor puede ser capaz de muestrear la preforma en 3 posiciones distintas del plato del robot, una posición un ciclo a la vez, con esto se asegura el muestrear el color en todos los ciclos de inyección y evitamos la inversión en una cantidad mayor de sensores. Ver figura 2.2



**Figura 2.2** Vista frontal del robot.

La máquina tiene 2 opciones de funcionamiento, ciclo seco y ciclo automático, en el primero de ellos la máquina realiza sus movimientos mecánicos normalmente, es decir el molde abre y cierra pero no inyecta, y el robot entra y sale del molde simulando su operación normal, obviamente en éste ciclo no hay presencia de preforma, en el ciclo automático la máquina además de realizar lo descrito en el ciclo seco, también realiza el proceso de inyección.

La opción de ciclo seco es un herramienta indispensable en el inicio de producción de la máquina, ya que nos permite realizar ajustes mecánicos y de posición tanto para el molde como para el robot sin generar desperdicio de materia prima (resina), se puede interrumpir el ciclo cuantas veces sea necesario.

Esta información es muy importante considerarla para establecer el momento preciso en que el sensor deba muestrear el color de la preforma, ya que como se ha explicado , sólo en ciclo automático habrá presencia de preforma.

La máquina de inyección cuenta con un PLC para controlar su funcionamiento, dependiendo del modelo de máquina es la marca del PLC, pueden ser Fanuc de GE, Siemens S7, etc. El PLC tiene una gran cantidad de entradas y salidas, la cual varía de un modelo a otro, aquí lo importante es analizar el programa del PLC y validar en el funcionamiento de la máquina el comportamiento de las señales de entrada y salida, para establecer cuales de ellas son claves de considerar para controlar el sistema de inspección electrónico de color, el enfoque fue ir descartando bloques del programa que controlan temperatura, presión, posición, etc., y enfocarnos en aquellas señales que están involucradas en la apertura y cierre de molde, presencia de resina en el molde, y presencia de preforma en el plato del robot, al final concluimos que las señales del PLC de la inyectora a considerar son: Robot Out , Mold Open y Nozzle shut off.

## **2.6 Evaluación y selección de la tecnología.**

Uno de los elementos claves para éste proyecto es el elemento sensor, en la industria existe una amplia gama de sensores para todo tipo de aplicaciones, por lo que se refiere a sensores de color, existen aquellos que son capaces de distinguir entre un color y otro mediante escala de gris.

Sin embargo, para poder diferenciar el tono de un mismo color, como es el caso de la inspección de la preforma, se requiere un sensor con otras capacidades, lo óptimo es utilizar un sensor fotoeléctrico de reconocimiento de color, este tipo de dispositivos son capaces de distinguir pequeñas variaciones de tono de color debido a que utilizan una fuente de luz RGB, cuyo acrónimo viene del inglés, Red, Green, Blue, lo que significa que funciona en base a la emisión de una luz compuesta por los colores primarios, de tal suerte que pequeñas variaciones del tono de color de la preforma serán convertidas en una señal digital.

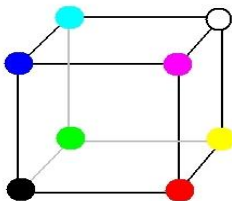
## 2.6.1 Conceptos básicos de la señal RGB.

RGB es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios, rojo, verde y azul.

Para indicar con qué proporción es mezclado cada color, se asigna un valor a cada uno de los colores primarios, de manera que el valor "0" significa que no interviene en la mezcla y a medida que ese valor aumenta, se entiende que aporta más intensidad a la mezcla. Aunque el intervalo de valores podría ser cualquiera (valores reales entre 0 y 1, valores enteros entre 0 y 37, etc.), es frecuente que cada color primario se codifique con un byte (8bits)

Así, de manera usual, la intensidad de cada una de las componentes se mide según una escala que va del 0 al 255 y cada color es definido por un conjunto de valores escritos entre paréntesis (correspondientes a valores "R", "G" y "B") y separados por comas.

De este modo, el rojo se obtiene con (255,0,0), el verde con (0,255,0) y el azul con (0,0,255), obteniendo en cada caso un color resultante monocromático. La ausencia de color, es decir el color negro, se obtiene cuando las tres componentes son 0: (0,0,0). La combinación de dos colores a su máximo valor de 255 con un tercero con valor 0 da lugar a tres colores intermedios. De esta forma, aparecen los colores amarillo (255,255,0), cian (0,255,255) y magenta (255,0,255). El color blanco se forma con los tres colores primarios a su máximo valor (255,255,255). El conjunto de todos los colores también se puede representar en forma de cubo. Ver figura 2.3, cada color es un punto de la superficie o del interior de éste. La escala de grises estaría situada en la diagonal que une al color blanco con el negro. [3]

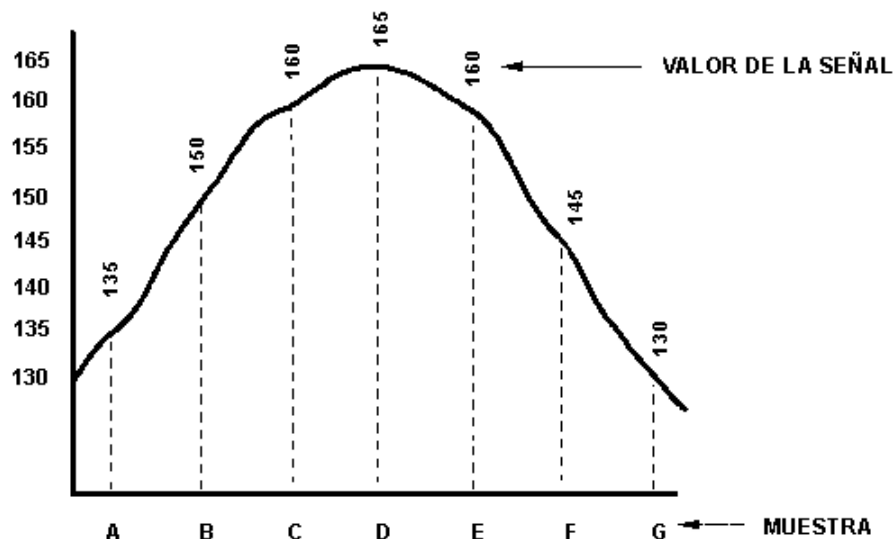


**Figura 2.3** Cubo RGB.

## 2.6.2 Conversión de una señal analógica en digital.

Una señal digital, en principio, transporta la misma información que una señal analógica pero mediante números, unos y ceros. Se basa sobre un conjunto de muestras efectuadas sobre la variación de la señal analógica, donde el número de muestras por segundo corresponde a la frecuencia de muestreo.

Para entender el proceso, imaginemos por ejemplo como se indica en la figura 2.4, que de la información que transporta una señal analógica tomamos 7 muestras, a cada una de ellas le corresponde un valor numérico concreto en Hertzios (muestras/segundo).



**Figura 2.4** Etapa de muestreo de una señal analógica.

La relación numérica de las muestras es lo que constituye la digitalización de la señal, A=135, B=150, C=160, D=165, E=160, F=145 y G=130.

Pero la cuantificación tiene que hacerse en el sistema binario, usando sólo 1 y 0.

En un sistema binario sólo pueden haber dos valores para cada dígito 0=Desactivado o 1=Activado. Por ejemplo, para representar el número 22 en notación binaria lo haríamos como 00010110, notación que se explica de la siguiente forma:

Posición del BIT: 7 6 5 4 3 2 1 0

Valor Binario: 0 0 0 1 0 1 1 0

Valor decimal: 128 64 32 16 8 4 2 1

Valores a sumar: 0 0 0 16 0 4 2 0

Valor resultante:  $16 + 4 + 2 = 22$

El valor más bajo será: 0 0 0 0 0 0 0 0 = Cero

Y el valor más alto será: 1 1 1 1 1 1 1 1 = 255

Por lo tanto, cada una de las muestras del gráfico anterior en sistema binario se corresponde con:

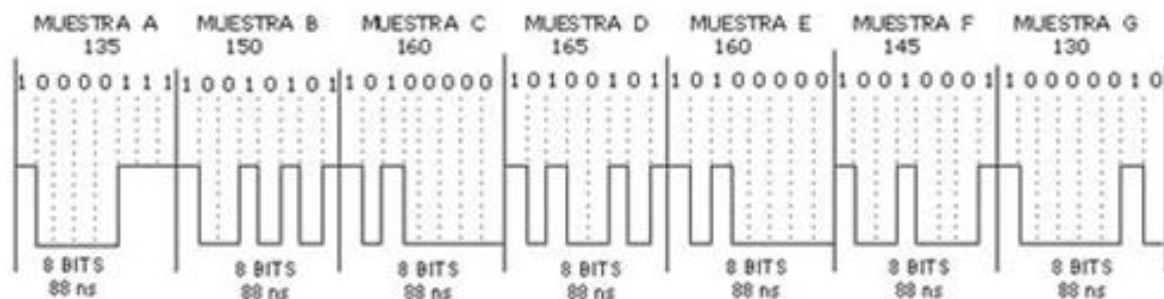
135 = 10000111 , 160 = 10100000

150 = 10010101 , 145 = 10010001

160 = 10100000 , 130 = 10000010

165 = 10100101

Como se observa en la figura 2.5, la señal digital que representaría a estas cifras será:



**Figura 2.5** Etapa digital.

A cada uno de estos bloques de 8 bits, se le da el nombre de Byte, lo que significa que cada muestra queda definida por un determinado Byte. [4]

### 2.6.3 Selección del sensor.

Se realizaron pruebas en campo con sensores fotoeléctricos de reconocimiento de color de las marcas FESTO y Allen Bradley, dichas pruebas consistieron en muestrear preformas de diferentes colores con variación de tono, y evaluar las características que consideramos más importante para la actividad a realizar. Finalmente se consideró que el sensor ColorSight de Allen Bradley es la mejor opción.

Características a evaluar	Sensor	
	Allen Bradley	FESTO
Discriminación de color RGB	Mayor	Menor
Distancia al objetivo	Mayor	Menor
Falsos rechazos	No	Si
Calibración local y remota	Si	No
Aplicación en PET	Si	No
Adecuado para el proyecto	Si	No

**Tabla 2.1** Comparación entre sensores.

El sensor fotoeléctrico ColorSight es un sensor de reconocimiento de color RGB diseñado para uso industrial, utiliza una fuente de luz tipo LED rojo, verde y azul.

La señal analógica RGB la digitaliza y a la salida nos proporciona 24 VCD cuando sea verdadera.

El sensor tiene la habilidad de almacenar un color objetivo utilizando un botón en la interface, y tomarlo como referencia en los muestreos siguientes, esta función puede también ser activada de forma remota por un PLC o terminales de I/O.

Cuenta con una perilla de ajuste para la sensibilidad (discriminación) del color, lo que permite establecer un rango de color partiendo del color objetivo.

Cuenta también con una fibra óptica, la cuál es el medio de transmisión de la señal RGB de la interface a la preforma y viceversa, y que contribuye a no tener pérdida de la señal.

Finalmente, tiene una interface en donde se configura el sensor mediante un DIP Switch para la aplicación específica del mismo. [5]

#### **2.6.4 Conceptos básicos de un PLC.**

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que van asociados a la maquinaria que desarrolla procesos de producción y controlan su funcionamiento. Un diagrama de bloques básico se observa en la figura 2.6

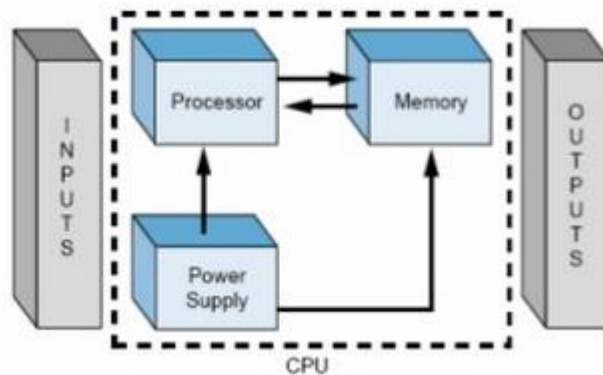
Un PLC se denomina así por sus siglas en ingles que significan Controlador Lógico Programable, fue desarrollado para reemplazar los circuitos secuenciales de relés utilizados en el control de máquinas.

El PLC opera monitoreando sus entradas y dependiendo del estado de éstas, manipula el estado de las salidas, activándolas o desactivándolas de acuerdo con las instrucciones del programa.

Un PLC realiza, entre otras, las siguientes funciones:

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones con base a criterios preprogramados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

Los PLC's se distinguen de otros controladores automáticos, en que pueden ser programados para controlar cualquier tipo de proceso, sólo se requiere desarrollar un programa para cada aplicación, a diferencia de un controlador de relés el cual sólo puede controlar un proceso y no tiene la versatilidad de un PLC.



**Figura 2.6** Diagrama a bloques de un PLC.

### 2.6.5 Selección del PLC.

Como se ha explicado, la complejidad de la máquina de inyección, y particularmente los distintos modos de operación que tiene, hacen que sea necesario contar con un control maestro basado en un PLC, el cuál determinará en que momentos se debe realizar el muestreo del color en preforma durante el proceso de manufactura.

Después de realizar el análisis del proyecto y llegar a un número determinado de señales de entrada y salida necesarios para el controlar el funcionamiento del inspector electrónico de color, llegamos a la conclusión que un PLC con 6 entradas y 4 salidas digitales es suficiente, por disponibilidad de equipos durante la implementación del proyecto se utilizaron básicamente 2 modelos de Telemecanique, el Zelio y el SR1 A101BD.

En ambos casos sus características principales son.

- Voltaje de alimentación de 24 VCD
- Entradas digitales de 24 VCD
- Salidas digitales de Relé

Además de lo anterior, puede ser programado por medio una PC con su software correspondiente, y también se puede programar directamente en el panel del PLC utilizando las teclas de navegación.[6]

### **2.6.6 Listado de material.**

Finalmente los componentes que utilizaremos en este proyecto son listados a continuación:

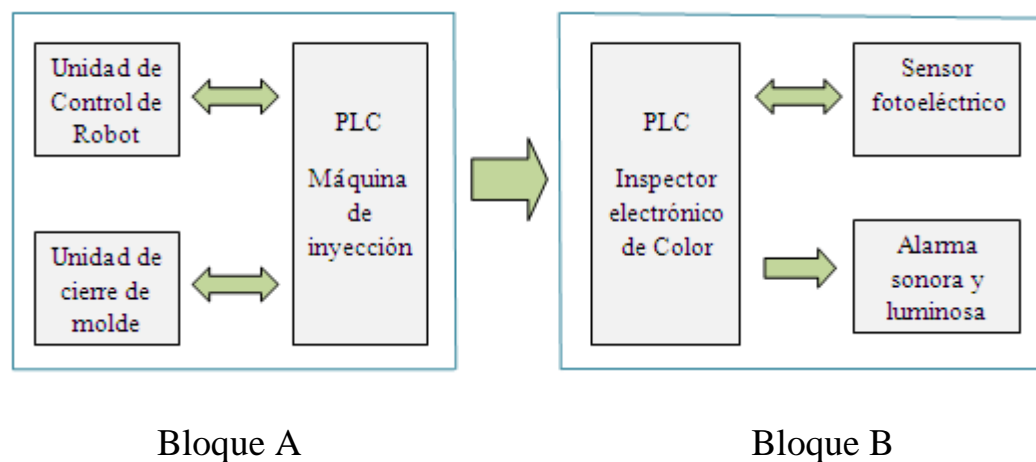
- Gabinete eléctrico de uso industrial
- Sensor colorsight 42QA de Allen Bradley
- Fibra óptica para sensor
- PLC Telemecanique (Zelio, SR1 A101BD, etc)
- Relevadores Omron de 24 VDC
- Alarma audible y visual Allen Bradley.

# Capítulo 3

## Etapa de diseño

### 3.1 Funcionamiento.

El sistema electrónico de inspección de color tendrá la capacidad de realizar el muestreo del tono de color en cada ciclo de producción, para ello una vez que el equipo es encendido, el mando del mismo estará a cargo de su control maestro (PLC), el cual está en comunicación con el PLC de la máquina de inyección por medio de las señales Robot Out, Mold Open y Nozzle shut off, estas señales pueden variar de acuerdo con el modelo de máquina.



**Figura 3.1** Diagrama a bloques que muestra la comunicación entre la máquina de inyección y el sistema electrónico de inspección de color.

El proceso de inyección se ha explicado con detalle en el punto 1.2.2 del capítulo 1, para efectos de explicar el funcionamiento de éste proyecto, vamos a partir de la secuencia de operación de la máquina de inyección justo cuando el molde está abierto y con las preformas en los cores (machos), el robot se desplaza al interior del molde, las preformas son transferidas hacia el robot y éste sale del molde regresando a su posición de inicio, éste movimiento el robot lo realiza en forma vertical, esta información se comunica de la unidad de control de robot y de la unidad del cierre de molde hacia el PLC de la máquina de inyección y viceversa como se observa en el bloque A de la figura 3.1.

Justo en ese momento el PLC del sistema electrónico de inspección de color recibe la confirmación de que la señal del robot out es verdadera, el siguiente paso es que el robot cambia a posición horizontal, en ésta posición las

preformas se ubican frente al sensor, cuando esto sucede el PLC del sistema electrónico de inspección de color envía una señal al sensor ColorSight para que pueda validar el tono del color de la preforma, como se indica en el bloque B, el sensor inspecciona el color de la preforma por 2 segundos, si el color muestreado es igual al patrón de referencia previamente grabado en la interface del sensor, el PLC determina que no se genera ninguna señal de salida, si por el contrario, el sensor determina que existe una variación en el tono del color envía una señal al PLC el cuál lo registra, si en un segundo muestreo nuevamente el sensor determina que hay variación de color de igual manera lo registra, y al 3er evento el PLC determina que la desviación es consistente y activa una alarma visual y sonora para evitar la fabricación de producto no conforme.

Una vez que el operador ha corregido la desviación y reinicia la producción, el equipo de inspección de forma automática continuará con el proceso de inspección de color.

### **3.2 Diagrama eléctrico.**

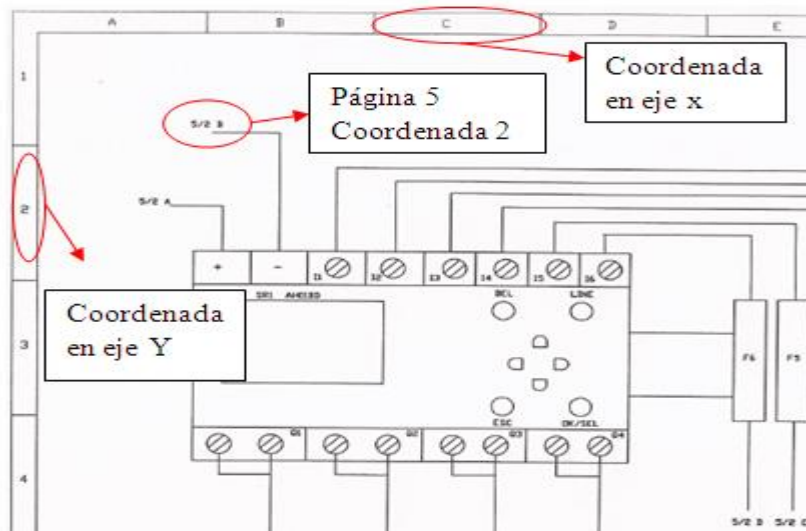
Una vez que se tienen definidos los principales componentes que conforman el sistema electrónico de inspección de color, como se indicó en el capítulo 2, el siguiente paso es enfocarse en el diseño del circuito eléctrico, el cual estará formado básicamente de lo siguiente:

- Panel de control
- Circuito de arranque
- Circuito de conexiones a PLC.

Para efecto de poder interpretar de forma sencilla los diagramas utilizaremos una nomenclatura basada en coordenadas XY para cada punto de conexión, el cual se explica a continuación.

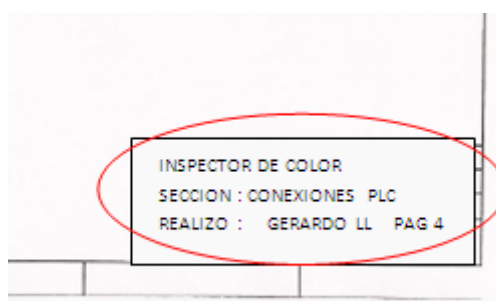
Se divide la hoja del diagrama en 7 partes iguales tomando como referencia el eje X, las cuales se identifican de la letra A a la G de izquierda a derecha, de la misma manera se divide en 6 partes iguales tomando como

referencia el eje Y, utilizando los números del 1 al 6 de arriba a abajo, de tal manera que si en un punto de conexión observamos que tiene indicado por ejemplo, 5/2B, significa que ésta línea continua en la hoja número 5 en la ubicación donde coinciden las coordenadas 2 en el eje Y, y B en el eje X. Esto se muestra en la figura 3.2



**Figura 3.2** Ejemplo de diagrama eléctrico basado en coordenadas XY.

Finalmente, en la parte inferior derecha de cada hoja, se indica el número de página, así como la sección correspondiente del diagrama eléctrico, como se indica en la figura 3.3



**Figura 3.3** Ejemplo de ubicación de número de página y sección de diagrama eléctrico.

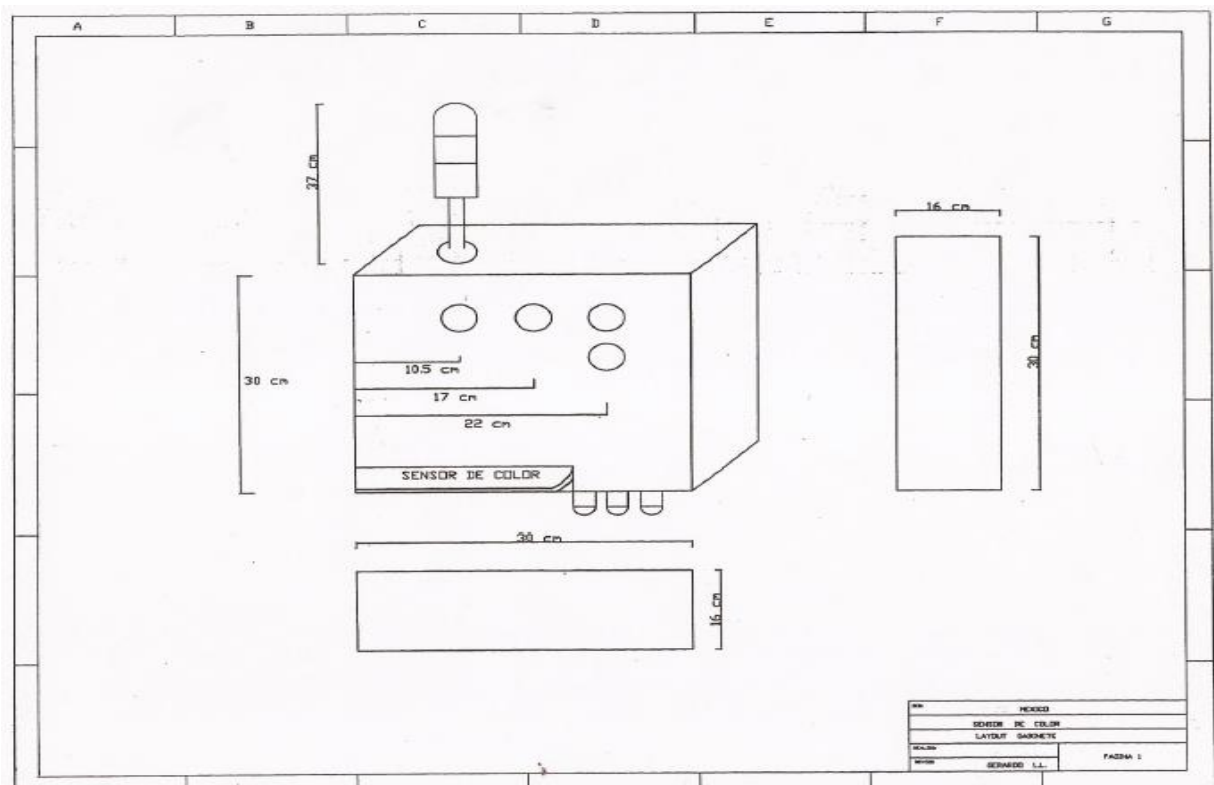
### 3.2.1 Panel de control.

Este fue diseñado considerando las necesidades del proyecto detalladas en el punto 2.2, especificaciones técnicas del capítulo 2.

Cuenta con un gabinete eléctrico de uso industrial, cuyas dimensiones se pueden observar en la figura 3.4, en el cuál se instalará en la parte frontal lo siguiente:

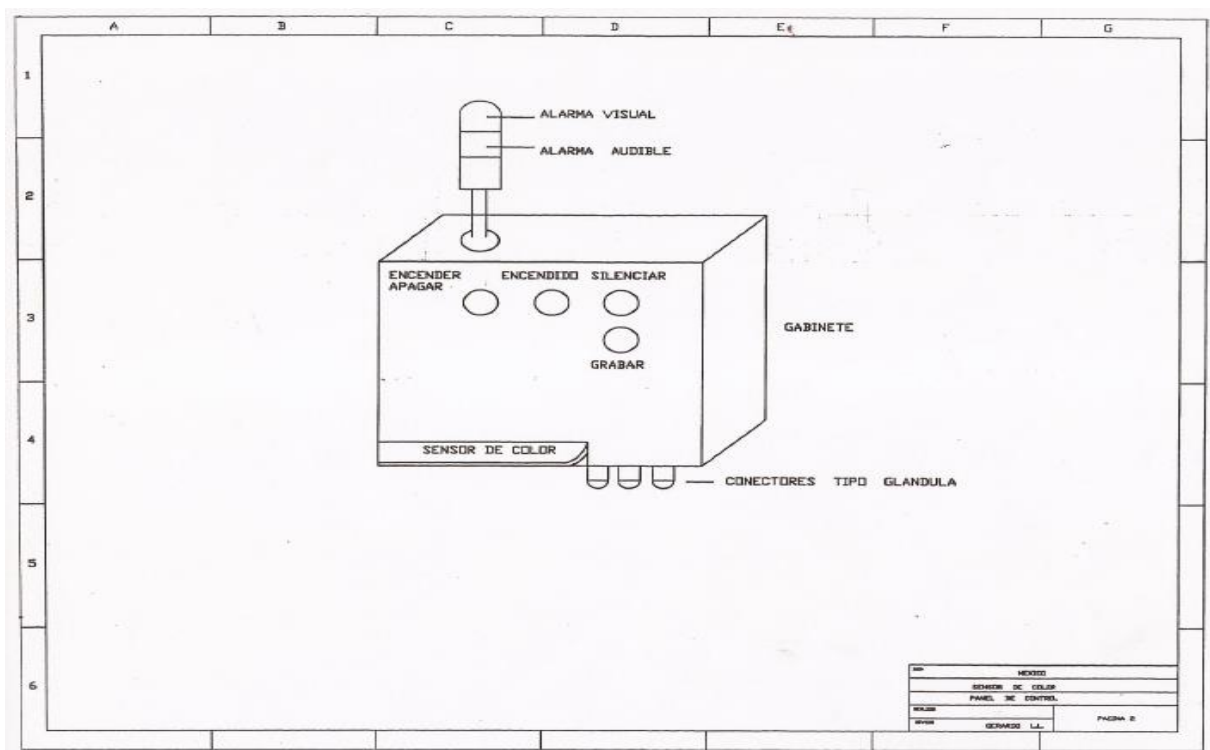
- Botón selector de encendido/apagado.
- Botón pulsador de encendido.
- Botón pulsador para silenciar.
- Botón pulsador para grabar.
- Alarma visual/audible (puede instalarse en el gabinete o en la máquina).

El gabinete se instalará en la sección de la máquina llamada unidad de robot, ya que es un punto de fácil acceso para el operador, y es la parte de la máquina más cercana al punto donde se instalará el sensor.



**Figura 3.4** Dimensiones gabinete eléctrico.

El Panel de control es el que se muestra en la figura 3.5



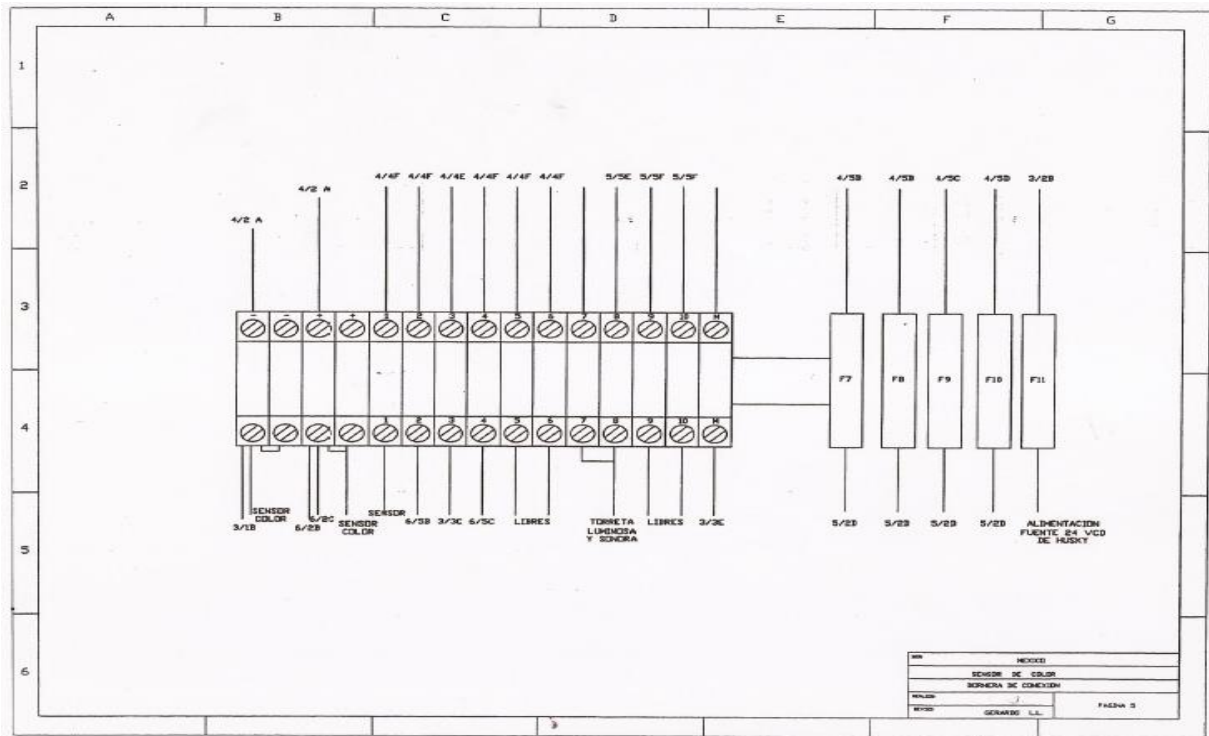
**Figura 3.5** Panel de control.

### 3.2.2 Circuito de arranque.

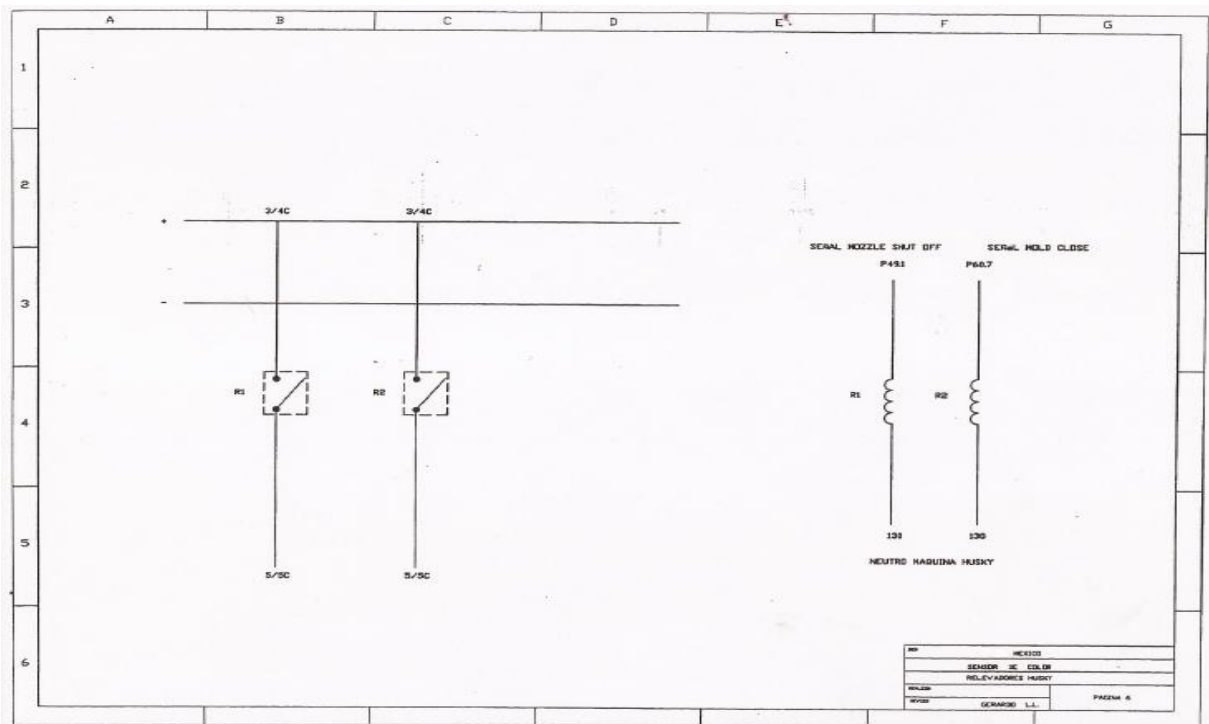
Está basado en un sistema muy sencillo de enclavamiento mediante un relevador de arranque, el primer paso es llevar a la posición encendido el botón selector, posteriormente al pulsar el botón de encendido se energizará la bobina del relevador de arranque, lo que permitirá que el contacto normalmente abierto del mismo relevador se cierre, de ésta manera se energizará todo el sistema, la lámpara piloto de encendido se mantendrá energizada. Para apagar el equipo bastará con llevar el botón selector a la posición apagado. Esto se puede observar en la figura 3.6

De igual forma de la figuras 3.7 a la 3.9, se muestra la parte complementaria del diagrama eléctrico, que se compone de las conexiones a PLC y relevadores de señales de salida del PLC máquina de inyección.





**Figura 3.8** Diagrama de bornera de conexiones.



**Figura 3.9** Diagrama circuito de conexiones relevadores de señales de salida PLC máquina de inyección.

## 3.3 Programas utilizados

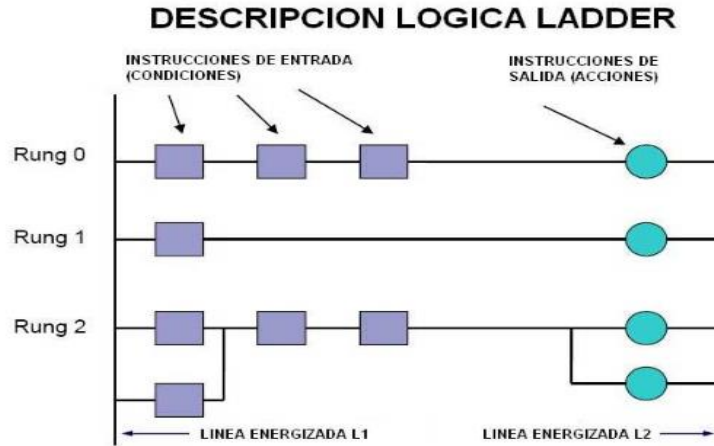
### 3.3.1 Conceptos básicos de programación.

Existen distintos tipos de lenguaje de programación de un PLC, quizás el más común sea la programación tipo escalera o ladder. Los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones.

De esta manera las principales características del lenguaje escalera son:

- Instrucciones de entrada se introducen a la izquierda.
- Instrucciones de salida se situarán en el derecho.
- Los carriles de alimentación son las líneas de suministro de energía L1 y L2 para los circuitos de corriente alterna, y 24V y tierra para los circuitos de CC.
- La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada renglón (Rung).
- El procesador (o "controlador") explora peldaños de la escalera de arriba a abajo y de izquierda a derecha.

Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para dejar o no dejar pasar la corriente de una línea a la otra. Estas condiciones se manejan comúnmente con contactos normalmente abiertos o normalmente cerrados los cuales interpretan las señales de alto y bajo de sensores o interruptores. Si las condiciones son verdaderas la corriente llega a las instrucciones de salida las cuales generan acciones como energizar la bobina de un motor o energizar una lámpara por ejemplo. De esta forma el paso de la corriente a las bobinas de salida están condicionadas por la lógica que manejen las instrucciones de entradas. Esto se puede observar en la figura 3.10.



**Figura 3.10** Esquema básico de la programación escalera.

Un PLC tiene muchas terminales "de entrada" y también muchas terminales de salida, a través de las cuales se producen las señales "alta" o "baja" que se transmiten a las luces de energía, solenoides, contactores, pequeños motores y otros dispositivos que se prestan a control on / off.

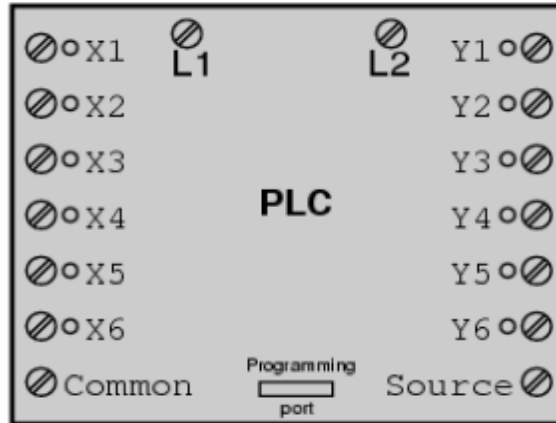
En un esfuerzo por hacer al PLC fácil de programar, el lenguaje de programación escalera fue diseñado para asemejarse a los diagramas de lógica de escalera. Por lo tanto, un electricista industrial o ingeniero eléctrico, acostumbrados a leer esquemas de lógica escalera se sentirán más cómodos con la programación de un PLC si se maneja con el lenguaje escalera.

### 3.3.2 Lógica escalera y su cableado.

Las conexiones de las señales y estándares de programación varían un poco entre los diferentes modelos de PLC, pero los conceptos son los mismos, así que tanto el cableado de alimentación como la programación son de alguna forma genéricos.

La figura 3.11 muestra un PLC simple, como podría parecer desde una vista frontal. Dos terminales de tornillo proporcionan una conexión a 120 VCA para alimentar los circuitos internos del PLC, L1 y L2.

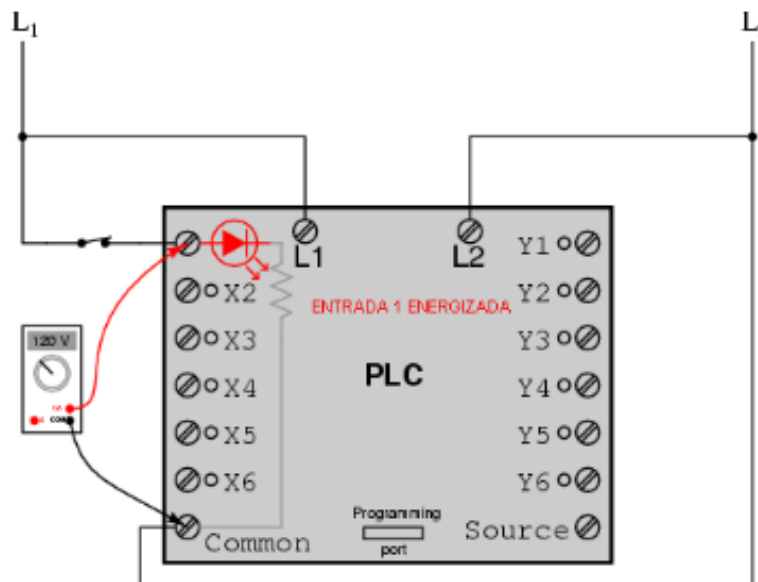
Seis terminales de tornillo en el lado izquierdo permiten conectar dispositivos de entrada, cada terminal que representa una entrada diferente "canal" con su propio "X" de la etiqueta. La terminal de tornillo inferior izquierda es un "común" de conexión, que suele ser vinculado a la L2 (neutral) de la fuente de alimentación de 120 VCA.



**Figura 3.11** Ejemplo típico de un PLC.

Dentro del PLC, conectado entre los bornes de entrada y el terminal común, está un dispositivo opto-acoplador que proporciona una señal de “alto” al circuito interno del PLC cuando hay una señal de 120 VCA aplicada entre el terminal de entrada correspondiente y el terminal común.

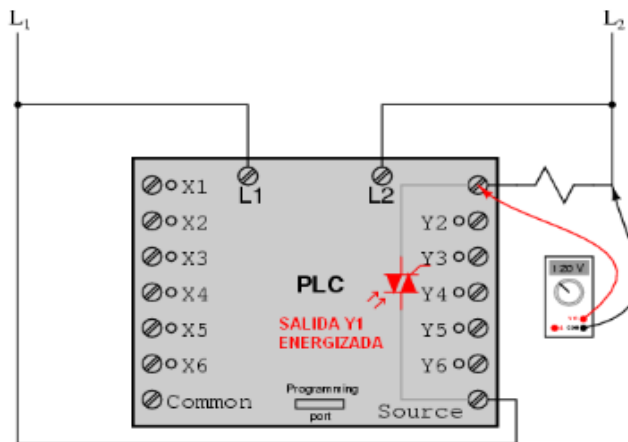
Un LED indicador en el panel frontal del PLC da una indicación visual de una "energía" de entrada. Esto se puede observar en la figura 3.12



**Figura 3.12** Detalle interno de una entrada con opto-acoplador.

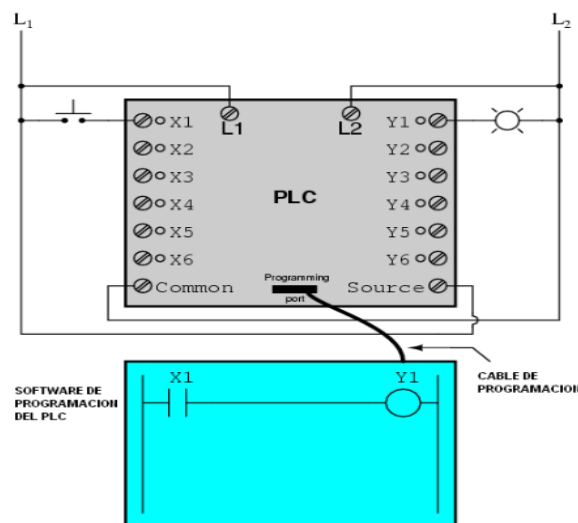
Como se observa en la figura 3.13, las señales de salida son generadas por el circuito de la CPU del PLC que activa un dispositivo de conmutación (transistor, TRIAC, o incluso un relé electromecánico), conectando la "fuente" a cualquier terminal de la terminales de salida "Y".

La "Fuente" de los terminales, en consecuencia, es por lo general relacionada con L1 de la fuente de alimentación de 120 VCA. Al igual que con cada entrada, un LED indicador en el panel frontal del PLC da una indicación visual de una "energía" de salida:



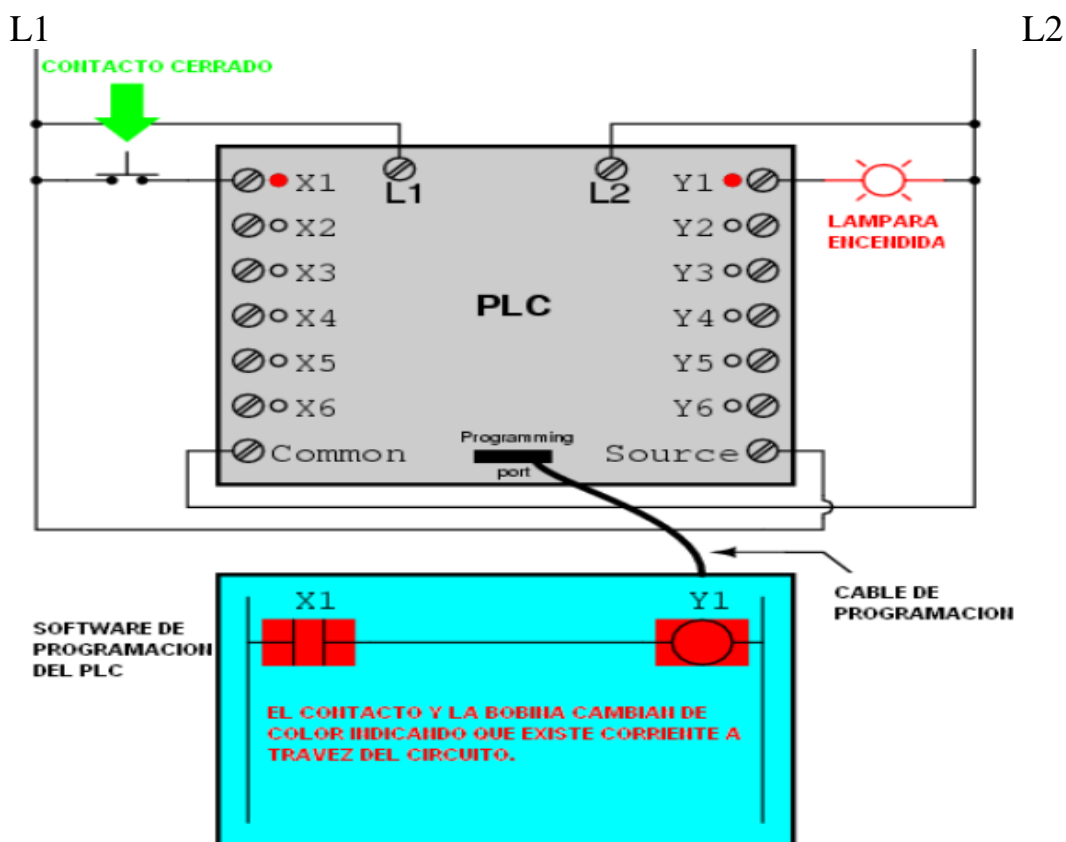
**Figura 3.13** Detalle interno de una salida con TRIAC.

Para tener más claro el concepto de cómo se relaciona la lógica escalera con el cableado del PLC considere el circuito y el programa del PLC de la figura 3.14.



**Figura 3.14** Esquema básico de circuito y programa escalera.

Cuando el interruptor de botón no es presionado (desactivado), no hay corriente en la entrada X1 del PLC. En el software se muestra un contacto normalmente abierto X1 en serie con una bobina Y1. Mientras en la entrada X1 no se encuentre una señal “alto” no se enviará ninguna corriente a la bobina Y1 puesto que el contacto es normalmente abierto. Por lo tanto, la salida asociada a Y1 sigue desenergizada y la lámpara sigue apagada. Si el interruptor de botón se presiona la corriente circula por el contacto, que ahora cambia de estado a cerrado, y se envía una señal “alto” a la entrada X1 del PLC. Todos y cada uno de los contactos X1 que aparecen en el programa asumirá el accionamiento (no normal), como si se tratara de contactos del relé accionado por la excitación de una bobina de relé denominada "X1". En este caso, la activación de la entrada X1 hará que el contacto X1 normalmente abierto se cierre y así permita el paso de corriente a la bobina Y1. Cuando la bobina Y1 del programa se "energiza", la salida Y1 real se energiza, y así la lámpara tiene energía para iluminar. Ver figura 3.15. [7]

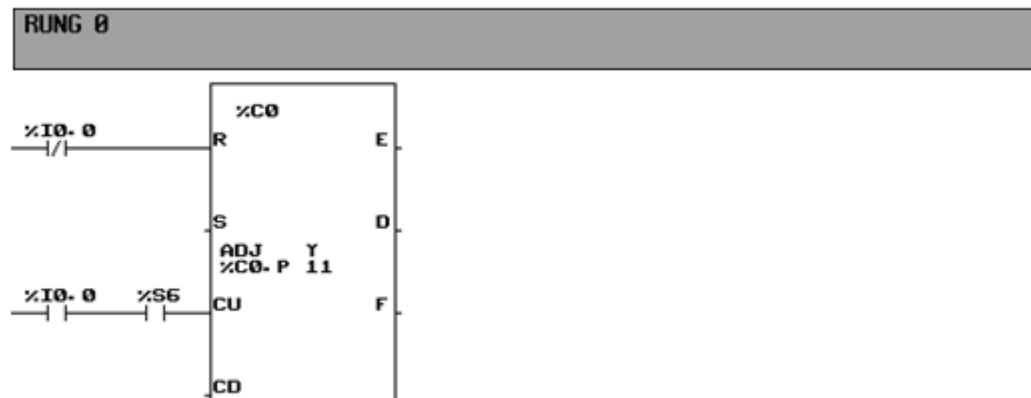


**Figura 3.15** Ejemplo de activación de entrada X1 y salida Y1.

### 3.3.3 Desarrollo de Programa.

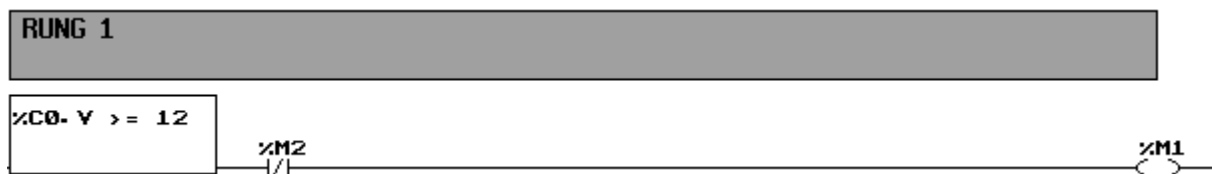
Los programas utilizados en éste proyecto fueron desarrollados de acuerdo con el modelo de máquina de inyección, así como el modelo de PLC disponible durante la ejecución del proyecto, de tal manera que los programas están personalizados para cada máquina, sin embargo los conceptos de programación son los mismos.

Programa del inspector electrónico de color de preforma con PLC Zelio.

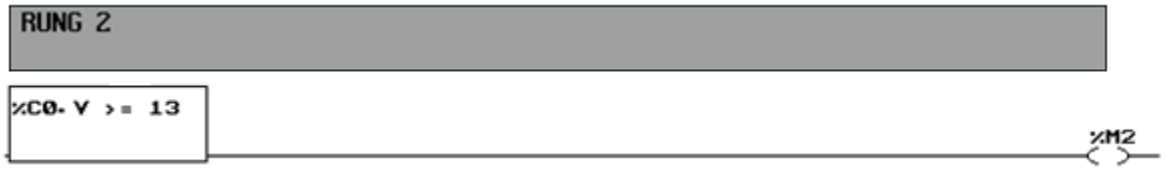


**LÍNEA 0:** CUANDO %I0.0 (SEÑAL ROBOT OUT) ESTA EN ON, EL CONTADOR %C0 CUENTA %S6 PULSOS, CUANDO %I0.0 CAMBIA A OFF, EL CONTADOR %C0 ES RESETEADO.

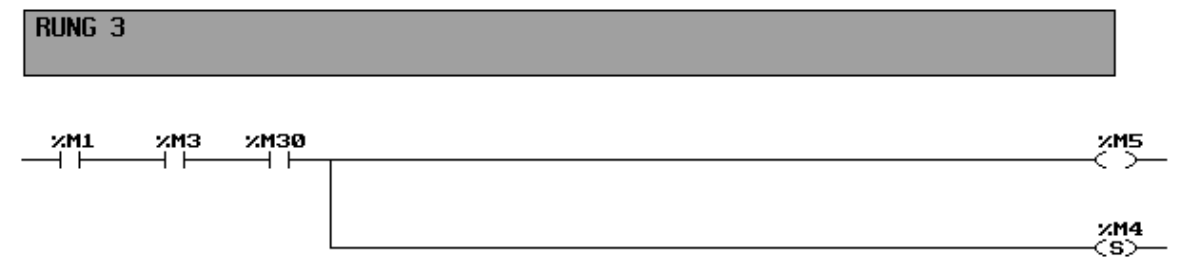
*Nota: %S6 es un bit interno del PLC. Tiempo base 1 segundo - %c0.p = valor de contador preestablecido (Preset Value).*



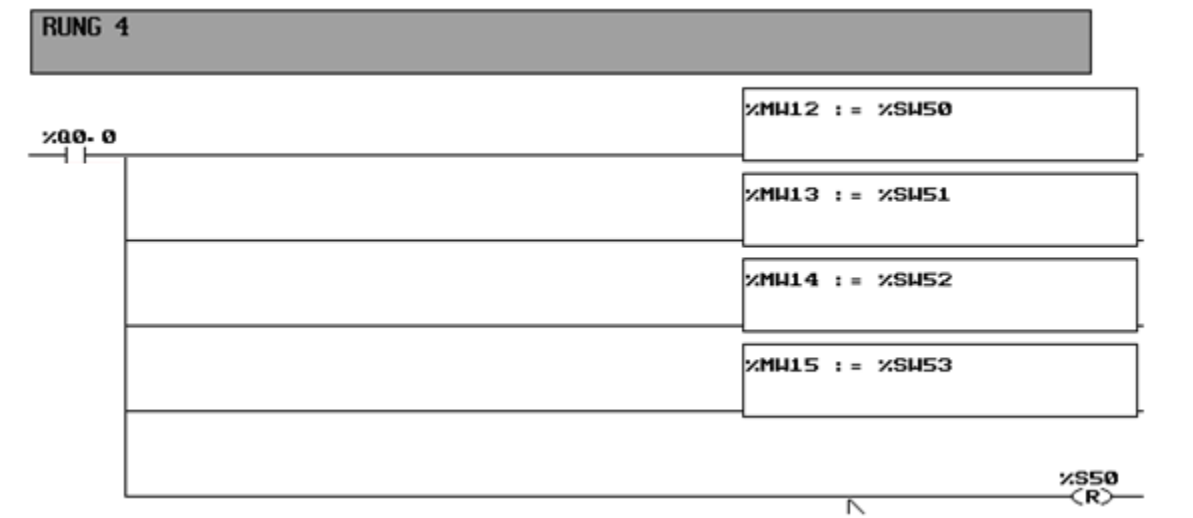
**LÍNEA 1:** BLOCK DE COMPARACION (SI EL VALOR DEL CONTADOR %C0.0 ES MAYOR O IGUAL A 12, ENTONCES %M1 ESTA EN ON), EL CONTACTO %M2 ES USADO PARA EL RESET.



**LÍNEA 2:** BLOCK DE COMPARACION (SI EL VALOR DEL CONTADOR %C0.0 ES MAYOR O IGUAL A 13, ENTONCES %M2 ESTA EN ON).

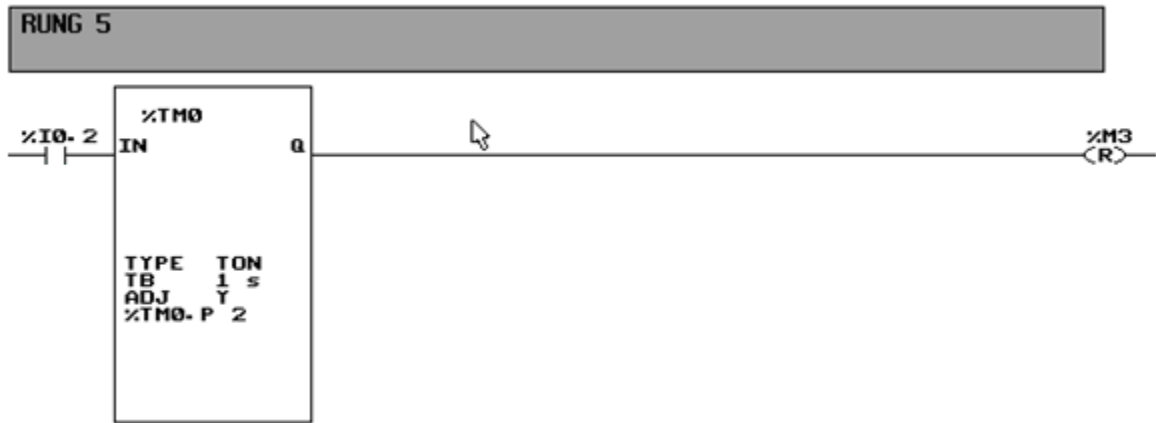


**LÍNEA 3:** CUANDO LA SECUENCIA %M1+ %M3 + %M30 ESTA EN ON, LA SALIDA %M5 ESTA EN ON Y %M4 ESTA EN SET.



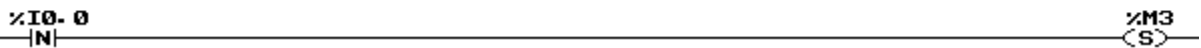
**LÍNEA 4:** CUANDO LA SALIDA %Q0.0 (ALARMA LUMINOSA) ESTA EN ON, %S50 ESTA EN RESET.

*Nota: Los otros blocks no son usados.*



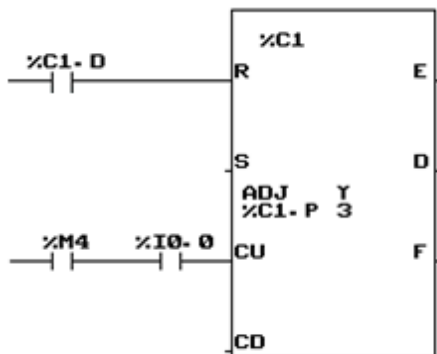
**LÍNEA 5:** CUANDO %I0.2 (SALIDA DEL COLOR SIGHT) ESTA EN ON DURANTE 2 SEGUNDOS %M3 ESTA EN RESET.

RUNG 6



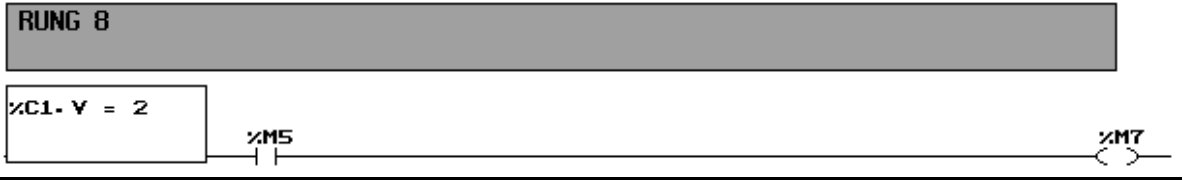
**LÍNEA 6:** CUANDO %I0.0 (ROBOT OUT) EN FLANCO DESCENDENTE ES DETECTADO Y %M3 ESTA EN SET.

RUNG 7

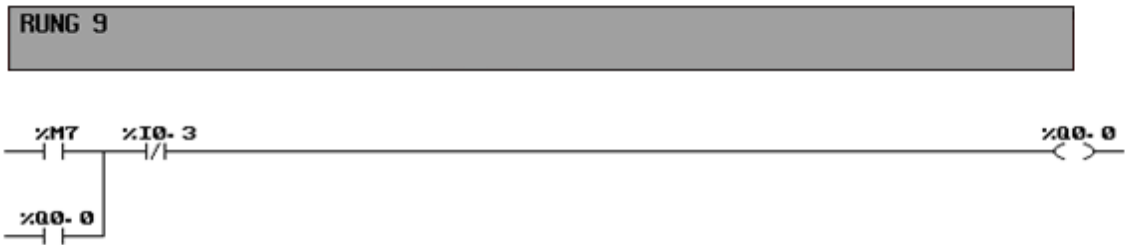


**LÍNEA 7:** CUANDO %M4 ESTA EN ON Y %I0.0 (ROBOT OUT) ESTA EN ON, EL CONTADOR %C1 CUENTA 1 UNIDAD. CUANDO ESTE CONTADOR ALCANZA 3, EL CONTADOR ES RESETEADO.

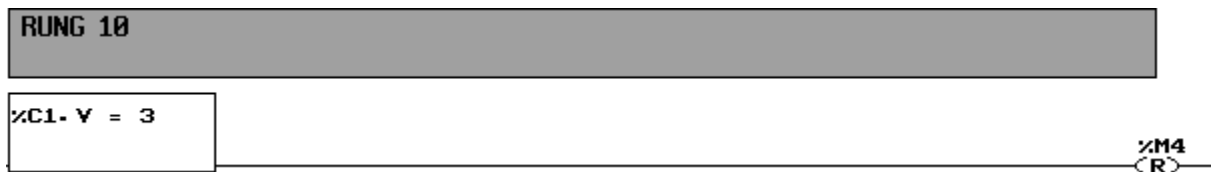
*Nota: %c1.p = valor preestablecido (Preset Value) del contador - %c1.d = cuando el contador alcanza el valor lógico preestablecido "1" la salida está en %c1.d*



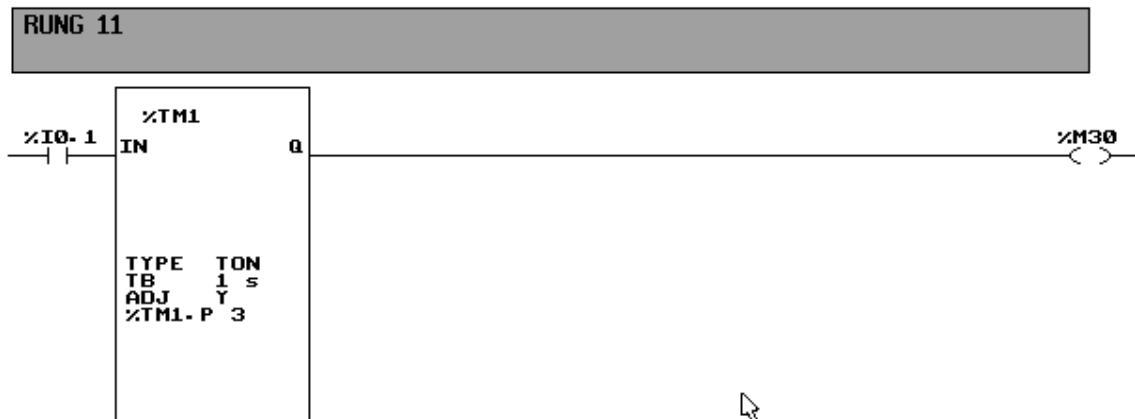
**LÍNEA 8:** BLOQUE DE COMPARACION (CUANDO %C1.V = EL VALOR DEL CONTADOR 1 ES IGUAL A 2, ENTONCES %M7 ESTA EN ON HASTA DONDE %M5 ESTA EN ON.



**LÍNEA 9:** CUANDO %M7 O %Q0.0 Y %I0.3 (BOTON DE RESET) ESTA OFF, ENTONCES %Q0.0 (ALARMA LUMINOSA) ESTA EN ON.



**LÍNEA 10:** BLOQUE DE COMPARACION (CUANDO %C1.V = VALOR CONTADOR 1 ES IGUAL A 3, ENTONCES %M4 ESTA EN RESET.



**LÍNEA 11:** CUANDO %I0.1 (SHUT OFF NOZZLE) ESTA DURANDO 3 EN EL TEMPORIZADOR 1.

### 3.4 Explicación del programa 1.

Las señales de entrada %I0.0 (ROBOT OUT) y %I0.1 (NOZZLE SHUT OFF) se tomaron de la máquina de inyección a través de relevadores sencillos de 24 VCD.

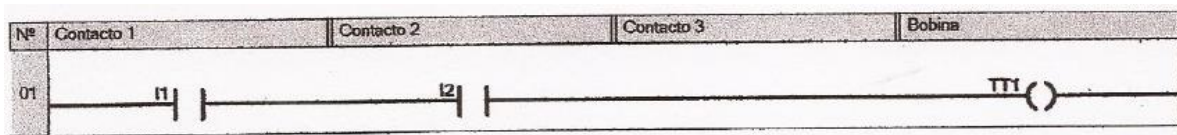
La entrada %I0.1 es utilizada para no utilizar el dispositivo cuando la máquina está en ciclo seco o en otra función como modo manual o semiautomático, como se ha explicado en estos modos de operación no hay presencia de resina y preforma, ya que se utilizan para realizar ajustes mecánicos a la máquina.

#### 3.4.1 Secuencia del programa.

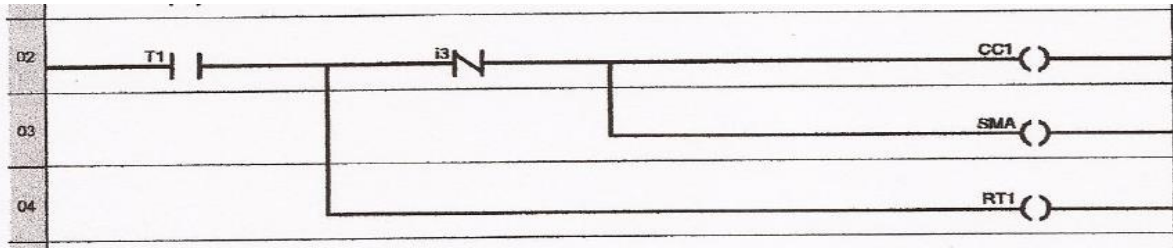
Partimos de que el molde de la máquina está abierto con las preformas en los cores (machos), el robot se desplaza al interior del molde, las preformas son transferidas hacia el robot y éste sale del molde regresando a su posición de inicio.

1. Cuando el robot está fuera del molde (I0.0), el contador C0 cuenta %S6 pulsos.
2. Cuando el robot está en la posición horizontal y el contador C0 alcanza el valor =12, entonces la señal del sensor en %I0.2 es leída por 2 segundos, si el color está correcto entonces la alarma está desactivada, en el caso contrario el contador %C1 cuenta hasta 3, en otras palabras no se activará hasta que sucedan 2 errores de color en forma sucesiva.
3. Si la alarma se enciende es posible apagarla con el botón de RESET de alarma en el tablero.

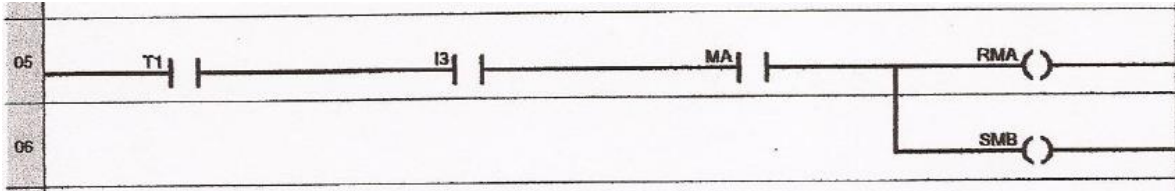
Programa del inspector electrónico de color de preforma, PLC SR1-A101BD



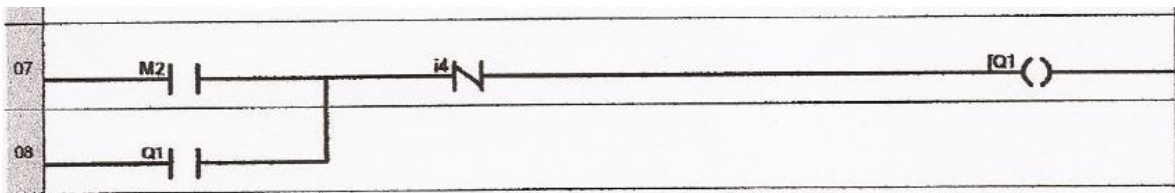
**LÍNEA 1.-** SEÑALES DE SALIDA INYECTORA, I1NOZZLE SHUT OFF, I2 MOLD CLOSE, ACTIVAN TEMPORIZADOR TT1 (7 SEG).



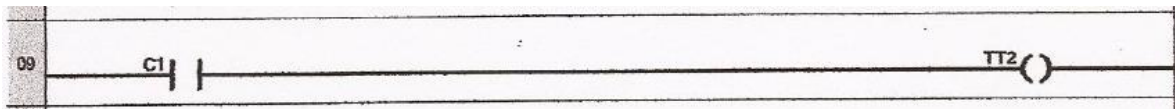
**LÍNEA 2, 3, 4.-** TEMPORIZADOR T1, i3 SENSOR OUTPUT ACTIVAN CONTADOR INTERNO C1 (= 2), BOBINA AUXILIAR MA, Y RESET T1.



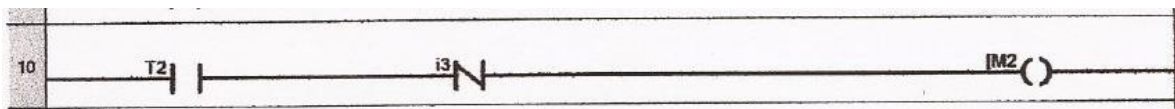
**LÍNEA 5, 6.-** TEMPORIZADOR T1, I3 SENSOR OUTPUT, MA INTERNO, ACTIVAN RESET MA Y MB.



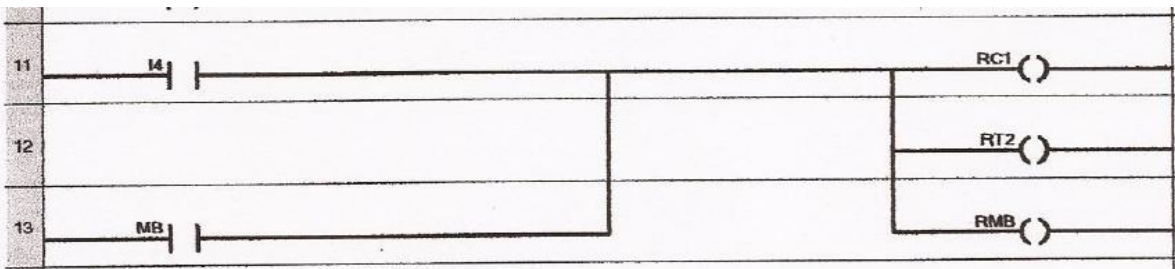
**LÍNEA 7, 8.-** M2 INTERNO, i4 SENSOR LEARN, ACTIVAN Q1 ALARMA



**LÍNEA 9.-** CONTADOR C1=2 ACTIVA TEMPORIZADOR T2 = 7SEG



**LÍNEA 10.-** TEMPORIZADOR 2, i3 SENSOR OUTPUT ACTIVAN M2



**LÍNEA 11, 12, 13. -** I4 SENSOR LEARN, MB INTERNO ACTIVAN RESET C1, RESET T2, RESET MB.

### **3.5 Explicación del programa 2.**

Las señales de entrada I1 (NOZZLE SHUT OFF) y I2 (MOLD CLOSE) se tomaron de la máquina de inyección a través de relevadores sencillos de 24 VCD, R1 Y R2.

#### **3.5.1 Secuencia del programa.**

Partimos de que el molde de la máquina está abierto con las preformas en los cores (machos), el robot se desplaza al interior del molde, las preformas son transferidas hacia el robot y éste sale del molde regresando a su posición de inicio.

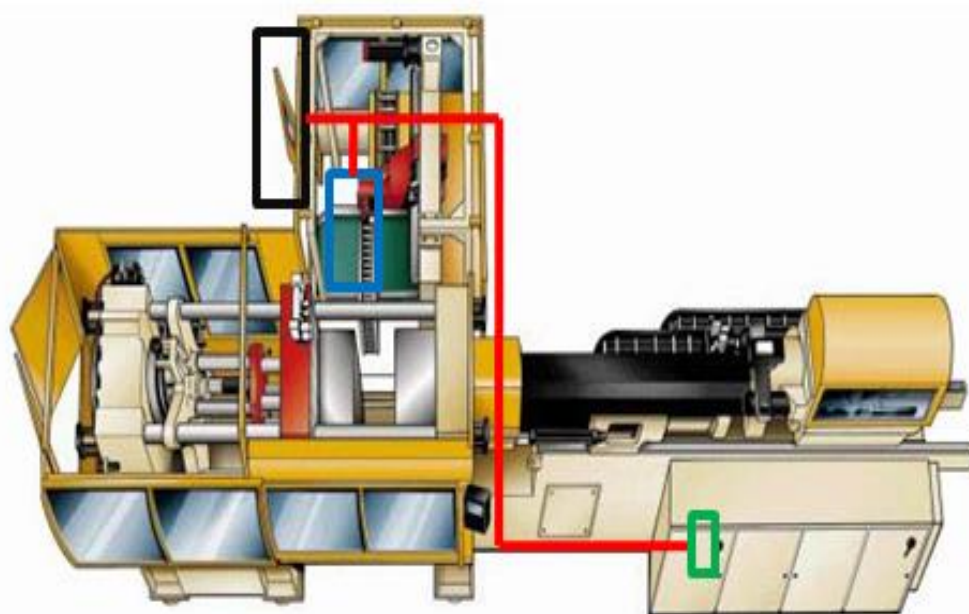
1. Cuando el robot está fuera del molde I1 y I2 activan el temporizador T1= 7 segundos.
2. Cuando el robot está en la posición horizontal y el temporizador T1 alcanza el valor =7, entonces la señal del sensor en I3 es leída por 2 segundos, si el color está correcto entonces la alarma está desactivada, en el caso contrario el contador C1 cuenta hasta 2, en otras palabras no se activará hasta que sucedan 2 errores de color en forma sucesiva.
3. Si la alarma se enciende es posible apagarla con el botón de RESET de alarma en el tablero.

# Capítulo 4

## Implementación y puesta a punto

## 4.1 Instalación del equipo.

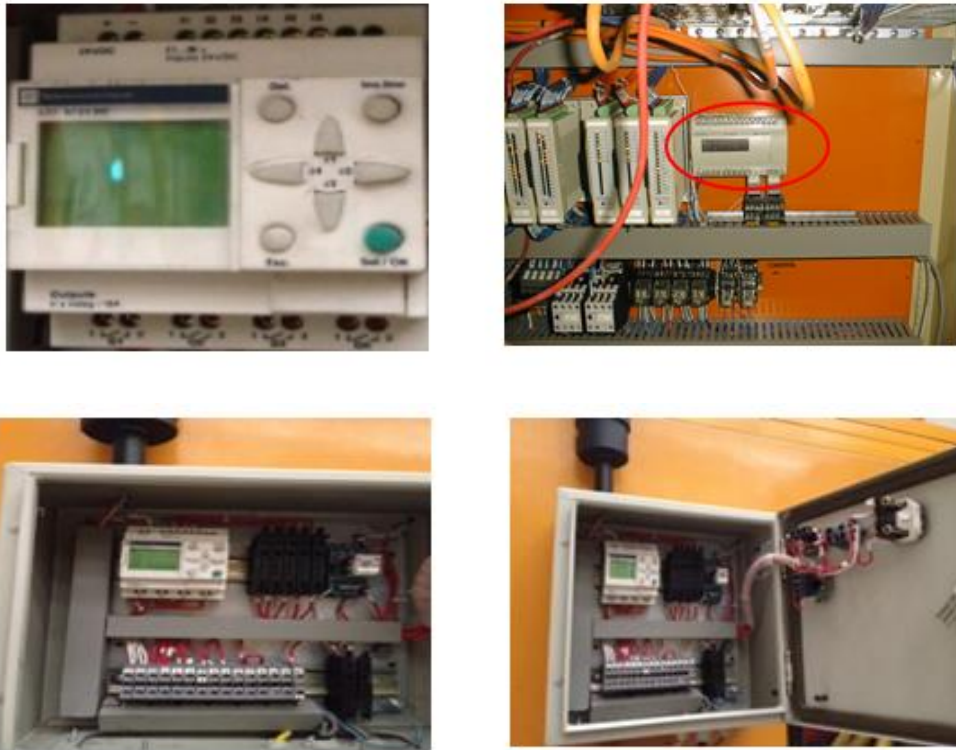
El primer paso es identificar el lugar de la máquina donde se instalarán los distintos dispositivos, como se indicó en el punto 2.3 del capítulo 2, el tablero de control se instalará en la cabina del robot, lo más cercano a la salida de preforma, esto está representado por el rectángulo negro de la figura 4.1, las señales de salida de la máquina inyectora indicadas en color rojo de la misma figura, se conectarán desde su tablero eléctrico donde se ubica el PLC, representado por el rectángulo verde, hasta el PLC del control del sistema de inspección electrónico, el sensor de color representado por el rectángulo azul se instalará dentro de la cabina del robot, lo más cercano al plato del robot cuando éste se encuentre en posición horizontal, esto es para facilitar la inspección del color en la preforma.



**Figura 4.1** Esquema indicando la ubicación en máquina de los distintos dispositivos, rectángulos negro, azul y negro, y cableado en rojo.

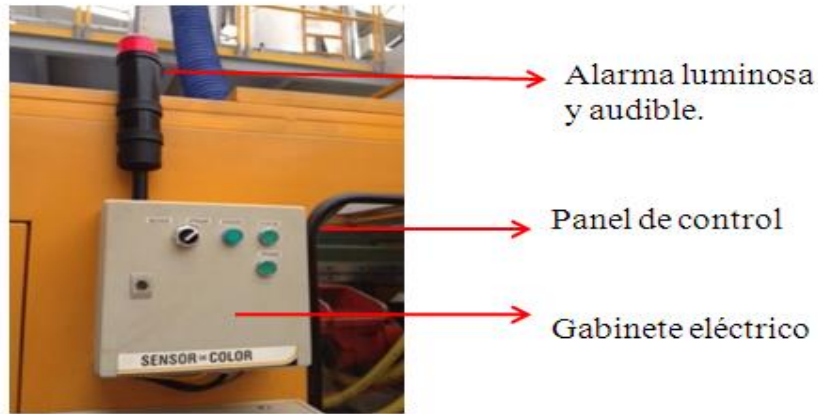
### 4.1.1 Instalación del gabinete eléctrico.

El cableado interno del gabinete eléctrico se realiza de manera previa al montaje del gabinete, para ellos nos basamos en los diagramas eléctricos que vimos en detalle en el capítulo 3, esto se puede observar en la figura 4.2



**Figura 4.2** Interior de tablero eléctrico para diferentes modelos de máquinas.

El siguiente paso es la fijación del tablero eléctrico en la máquina inyectora, justo en la parte posterior de la cabina del robot, como se muestra en las figuras 4.3 y 4.4, es importante mencionar que la ubicación puede variar de acuerdo al modelo de máquina inyectora. Para el modelo G la torreta de alarma se instala en la parte superior de la máquina.



**Figura 4.3** Gabinete eléctrico instalado en máquina modelo SX



**Figura 4.4** Gabinete en banco de pruebas y en máquina modelo G.

#### 4.1.2 Instalación de interface y sensor de color.

La interface tiene una cubierta que cubre los controles, debajo se encuentra un potenciómetro para regulación de la ganancia, debe estar calibrado en alto, tiene una serie de Dip Switch que deben estar en la posición off para ésta aplicación, tiene un botón blanco de enseñanza de color, ver la figura 4.5, cuando el sensor está frente al color que queremos grabar, hay que presionarlo por 3 segundos y el color quedará memorizado, con ese registro compara las demás preformas.

En cuanto a los LEDs tiene 3 de distintos colores:

- Verde: Este LED indica que el sensor está encendido y operando.
- Amarillo: Cuando el color que se muestrea es igual al color guardado previamente, se enciende éste LED indicando que la muestra está correcta.
- Rojo: Se encenderá siempre que exista un error de lectura, sensor corrido de su posición o muy lejos del objetivo.

En la parte inferior del cabezal se conecta la fibra óptica de acuerdo con la polaridad indicada, con la banda azul como emisor y la otra punta como receptor de luz, puede instalarse sobre la máquina en un lugar cercano a la posición final del sensor o incluso en el gabinete eléctrico.



**Figura 4.5** Interface del sensor de color.

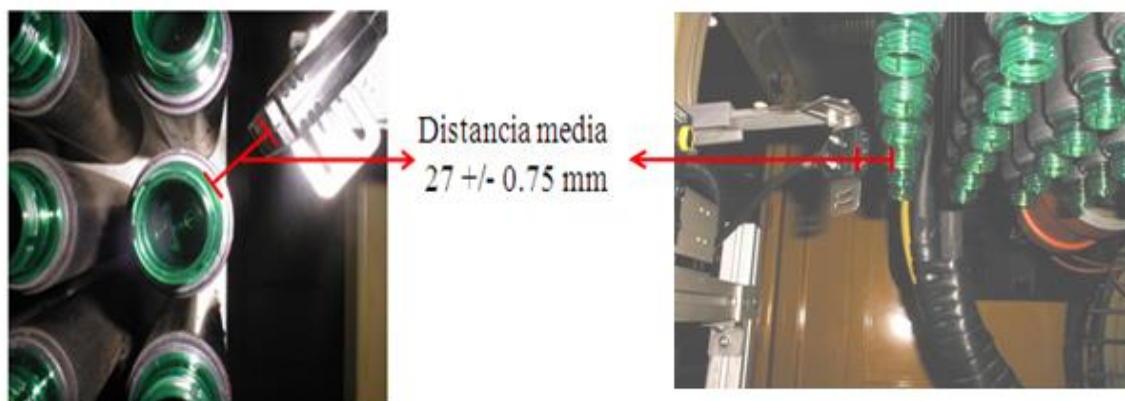
Por lo que se refiere al sensor de color, se compone básicamente del cabezal, el cual tiene un lente instalado en el frente, y está unido a la fibra óptica, la cuál se conecta en la interface para efectos de emisión y recepción de luz. Esto se muestra en la figura 4.6



**Figura 4.6** Sensor de color con fibra óptica.

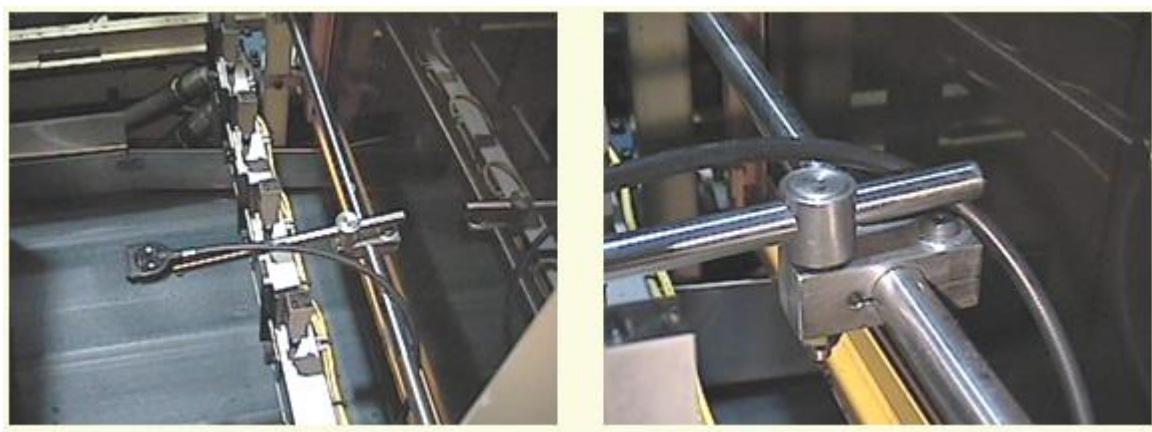
### 4.1.3 Ajuste de la posición del sensor.

La clave para un correcto funcionamiento del equipo es colocar en la posición correcta el sensor respecto del objetivo, que en ésta aplicación será la preforma, el sensor tiene un rango de operación para la distancia entre la lente y el objetivo que es de  $27 \pm 0.75$  mm. Esto se muestra en la figura 4.7



**Figura 4.7** Ajuste de la distancia entre el sensor y la preforma, vista lateral y superior.

Para facilitar la instalación y correcto posicionamiento del sensor se ha desarrollado una barra de soporte colocada de forma horizontal, con una longitud tal que permita el desplazamiento del sensor a todo lo ancho de la banda de extracción de piezas (izquierda a derecha), de igual manera el soporte considera una barra vertical para ayudar en el ajuste arriba y abajo del sensor. Esto se puede observar en la figura 4.8



**Figura 4.8** Montaje de sensor en barras con movimiento horizontal y vertical

Finalmente y como se observa en la figura 4.9, se conecta el conector que comunica el PLC de la máquina inyectora con el PLC del sistema de inspección electrónico.



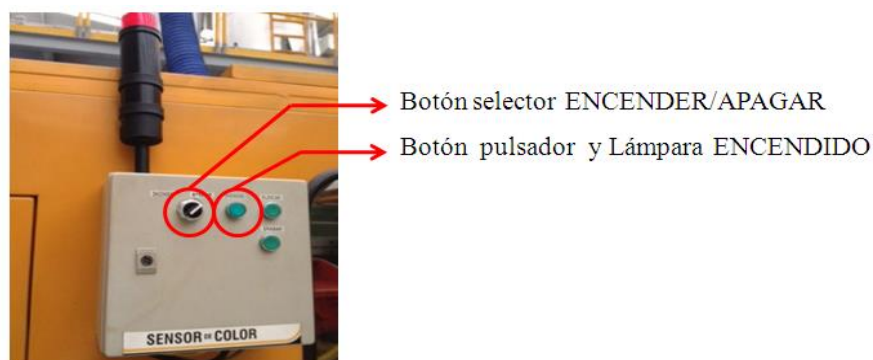
**Figura 4.9** Conector en tablero eléctrico de máquina inyectora.

## 4.2 Operación.

Para asegurar un correcto funcionamiento del equipo se han desarrollado una serie de pasos muy sencillos de realizar, sólo deben seguirse en la secuencia listada a continuación.

1. En el panel de control del gabinete eléctrico del sistema de inspección de color, gire el botón selector ENCENDER/APAGAR a la posición encender.
2. Oprima y libere el botón pulsador ENCENDIDO.
3. En el panel de control la lámpara piloto ENCENDIDO se mantendrá encendida y en la interface del ColorSight el LED de color verde se iluminará indicando que el equipo ha sido energizado.

Para los puntos 1 y 2 se tomará como referencia las figuras 4.10 y 4.11

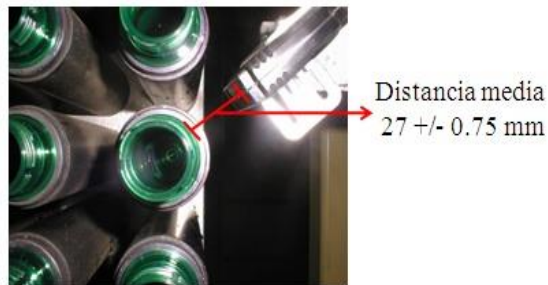


**Figura4.10** Panel de control sistema electrónico de inspección de color.



**Figura 4.11** Interface del sensor de color.

4. Espere a que el robot haya entrado y salido del molde y regrese a su posición de inicio, y se encuentre en la posición horizontal con la preforma en el color estándar en la copa posicionada frente al sensor del ColorSight, asegure que la distancia del sensor a la preforma sea de 27 mm +/- 0.75mm para cada una de las 3 posiciones del Plato del robot, como se observa en la figura 4.12



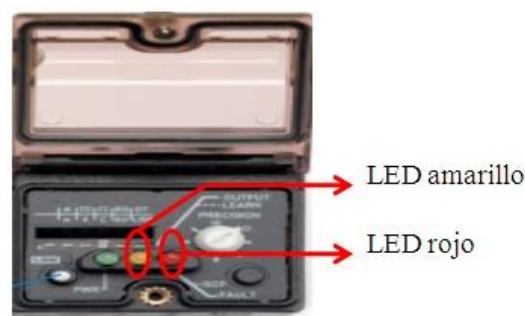
**Figura 4.12** Ajuste de la distancia entre la preforma y el sensor de color a 27mm.

5. Justo en ese momento oprima el botón GRABAR del tablero de control o el botón blanco de la interface por tres segundos y libere. Esto se observa en la figura 4.13



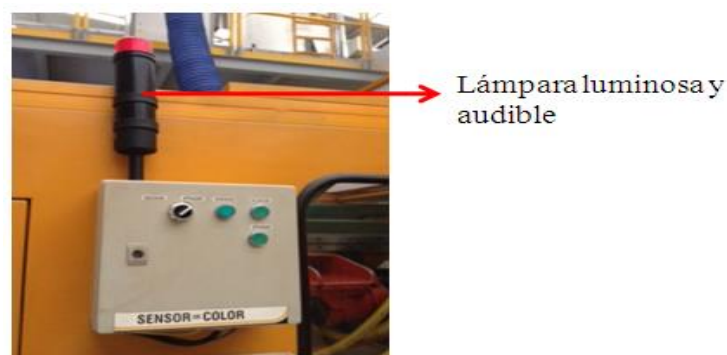
**Figura 4.13** Opciones del botón GRABAR.

6. Cuando se oprime el botón GRABAR, en la interface del sensor, el LED de color amarillo se encenderá de forma intermitente, esto significa que el sensor está grabando el color de la preforma y lo tomará de referencia para comparar los siguientes ciclos de producción ; si al liberar el botón GRABAR, el LED amarillo se enciende permanentemente esto significa que la calibración ha sido terminada satisfactoriamente, por el contrario , si al liberar el botón GRABAR se enciende en la interface del sensor el LED de color rojo, esto significa que el color de la preforma no ha sido grabado. En este caso repita el proceso desde el paso 3. Ver figura 4.14



**Figura 4.14** Interface sensor LEDs amarillo y rojo.

7. Cada vez que una preforma se encuentre frente al sensor, en la interface el LED de color amarillo se encenderá permanentemente indicando la presencia de la preforma, si al estar la preforma frente al sensor no se enciende el LED amarillo significa que la preforma a variado en el color, al segundo ciclo de producción que suceda esto, se activará la alarma luminosa y audible indicando que hay una variación de tono que debe ser corregida. Ver figura 4.15



**Figura 4.15** Alarma luminosa y audible.

### **4.3 Resultados.**

Después del desarrollo e implementación de éste proyecto podemos listar los siguientes resultados alcanzados.

- Disminución del 80% de scrap por variación de tono.
- Cero reclamaciones de calidad en 12 meses posteriores a su implementación.
- Proyecto de bajo costo alto beneficio, retorno de inversión de 6 meses.
- Se elimina el factor humano en un proceso de inspección por atributos.
- Reducción a cero en horas hombre por inspección de color.
- Reducción a cero de producto no conforme por variación de tono.
- Se obtiene un proceso de manufactura más robusto.
- Se logra la inspección del 100% de los ciclos de producción.

### **4.4 Conclusiones.**

La realización del presente trabajo nos ha dejado ampliamente satisfechos, ya que cuando se recibe la propuesta por parte de la empresa para la realización del proyecto, y considerando la tecnología en la cual se desarrollaría el mismo, daba la impresión que la solución a la necesidad planteada conllevaría una fuerte inversión económica para su ejecución, sin embargo basado en un buen análisis técnico, fue posible encontrar una forma práctica y de bajo costo para su ejecución.

La clave del éxito del proyecto radica en el hecho de entender con claridad la necesidad que se tiene, así como el conocer con profundidad el funcionamiento de los equipos involucrados en el proceso de inyección de preforma en color, como son la propia máquina inyectora, el secador de resina y el equipo de pigmentación.

La siguiente actividad no menos importante radicó en elegir correctamente los dispositivos a emplear, es decir que fueran de la capacidad suficiente y con la operación correcta.

Es importante mencionar que la selección adecuada del sensor contribuye en un 50% el éxito del proyecto ya que existe una amplia gama de opciones en el mercado con la capacidad de diferenciar entre distintos colores, pero las opciones disminuyen cuando se habla de tener la capacidad de diferenciar tonos del mismo color.

Se debe mencionar también de la importancia de haber desarrollado un sistema que sea funcional y flexible, y sobretodo que pueda ser adaptado a los distintos modelos de máquinas de inyección sin que esto represente el hacer cambios profundos.

El contar con un PLC ayuda con éste cometido, ya que los programas prácticamente quedan personalizados a cada modelo de máquina y las señales involucradas en la comunicación entre el PLC del equipo de inspección electrónico y el PLC de la máquina inyectora pueden ser tomadas de una amplia gama de posibilidades.

La obsolescencia de los dispositivos utilizados juega también un rol importante, ya que los vertiginosos cambios tecnológicos hacen que el proyecto desarrollado deba estarse actualizando a la oferta actual en el mercado, por citar un ejemplo, el PLC Zelio utilizado en los primeros equipos de inspección ya no se fabrica más , lo que obliga a migrar a dispositivos actuales, sin embargo los conceptos en los cuales se desarrolló el presente trabajo permiten este tipo de modificaciones de una manera práctica.

Finalmente, como todo proyecto con el tiempo es susceptible de ser mejorado de acuerdo con las observaciones de la operación diaria, fue diseñado para cumplir una tarea específica planteada en el requerimiento inicial de la empresa, sin embargo en etapas futuras el alcance puede ser de mayor amplitud, por ejemplo orientado a la corrección automática en caso de presentarse una desviación en el proceso.

## Referencias

- [1] TERCEL-Resina PET, Características y propiedades, Celanese Mexicana SA.
- [2] Manual de Operación Máquina de Inyección Husky, Año 2000, Husky LTD, Bolton, Canadá.
- [3] Conceptos básicos de la señal RGB, Matías Echenique.
- [4] Conversión analógico digital, José E. García, AF.
- [5] Instructivo de Operación Sensor fotoeléctrico ColorSight 42QA-G5LE-A2 de Allen Bradley.
- [6] Conceptos básicos de PLC, Manual de producto Siemens.
- [7] Tutorial de programación de PLC Zelio&SR1A101BD, Telemecanique.

## Glosario

**Amorfo.-** Estructura molecular del PET sin orden establecido.

**Biorentación.-** Proceso de desplazar la paredes de la preforma en dirección longitudinal y radial en el proceso de soplado.

**Cañón de inyección.-** Cilindro metálico con husillo en el interior donde se calienta la resina a 280 °C para ser inyectada al molde.

**Cavidades.-** Formas geométricas en el interior del molde que serán llenadas con resina fundida.

**Cores.-** Coloquialmente llamados machos, son la parte del molde de inyección que junto con la cavidad dan forma geométrica al producto a fabricar.

**Esterificación.-** Proceso por el cual se sintetiza un ester, que es un derivado de la reacción química de ácido carboxílico y un alcohol.

**Extrusión.-** Se llama así al proceso de hacer pasar la resina a través de un cilindro metálico con un husillo en su interior a temperatura suficiente para fundir la resina.

**Higroscópico.-** Capacidad de algunos materiales de absorber humedad del medio ambiente.

**Interface.-** Dispositivo del sensor fotoeléctrico donde se configura la forma en que opera.

**Oligómeros.-** Está formado por un número finito de monómeros.

**Peletizador.-** Proceso final de fabricación de la resina PET en pellets.

**Pellets.-** También llamado granulado, forma geométrica que presenta la resina PET, típicamente cilíndrica de 3mm de longitud.

**PET.-** Significa Polietilentereftalato, o bien Tereftalato de Polietileno.

**Platina fija.-** Placa metálica de la prensa hidráulica sin movimiento, donde se monta la mitad del molde de cavidades.

**Platina móvil.-** Placa metálica de la prensa hidráulica con movimiento para permitir la apertura y cierre de molde, donde se monta la mitad de molde de cores.

**Poliéster.-** Es un polímero que además de carbono, tiene átomos de oxígeno o nitrógeno en su cadena principal.

**Polímero.-** Son macromoléculas formadas por la unión ilimitadas de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.

**Proceso de inyección.-** Es el proceso de transformación de resina en preforma.

**Proceso de soplado.-** Es el proceso de transformación de preforma en botella.

**Síntesis aditiva.-** Se le llama así a la acción de obtener un color de luz determinado por la suma de otros colores.

**Scrap.-** Producto que no cumple la especificación de fabricación y se considera desperdicio.