

12  
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CAMPUS  
A R A G Ó N

**“CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE  
SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL  
CON PLC’S”**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

VICTOR MANUEL BAUTISTA GONZÁLEZ

ENEP ARAGON

MEXICO, D.F. 1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

**DE SISTEMAS DE CONTROL**

**INDUSTRIAL CON PLC'S**

*Dedicado a mi hijo  
Victor Manuel*

*Con profundo agradecimiento a mis padres  
Sara y Francisco*

## **INDICE**

### **Consideraciones de Diseño de Sistemas de Control Industrial con PLC's**

#### **Capítulo I**

|   |          |
|---|----------|
| <b>1.-Antecedentes Electrónicos</b>                                       | <b>1</b> |
| 1.1 Introducción  | 1        |
| 1.1.1 Ventajas y desventajas de los PLC's                                 | 2        |
| 1.2 Sistemas Digitales Industriales                                       | 5        |
| 1.2.1 Circuitos Lógicos de Relevadores y Transistores                     | 8        |
| 1.2.2 Convertidores de Señal  | 12       |
| 1.3 Contadores Registros de Corrimiento, Codificadores y Decodificadores. | 15       |
| 1.3.1 Registros   | 15       |
| 1.3.2 Registros de Corrimiento  | 17       |
| 1.4 Contadores  | 18       |
| 1.5 Decodificadores   | 19       |
| 1.6 Temporizadores  | 21       |
| 1.6.1 Temporizadores de Estado Sólido                                     | 23       |
| 1.7 Tiristores  | 24       |
| 1.7.1 SCR   | 25       |
| 1.7.2 TRIAC   | 31       |
| 1.7.2.1 Métodos de disparo de los TRIAC's                                 | 32       |

#### **Capítulo II**

|   |    |
|---|----|
| <b>2.-Dispositivos de Control y Programación</b>                                |    |
| 2.1 Dispositivos Lógicos Programables   | 35 |
| 2.1.1 Introducción  | 35 |
| 2.1.2 Dispositivos Lógicos Programables Combinacionales                         | 38 |
| 2.1.2.1 Dispositivos lógicos Programables Combinacionales Universales           | 38 |
| 2.1.2.2 Dispositivos lógicos Programables Combinacionales Universales completos | 38 |

## INDICE

---

|   |    |
|---|----|
| 2.1.2.3 Dispositivos lógicos Programables Combinacionales Universales incompletos | 42 |
| 2.1.2.3.1 Matrices lógicas programables(PLA)                                      | 43 |
| 2.1.2.3.2 Matrices lógicas AND programables (PAL)                                 | 46 |
| 2.1.3 Dispositivos logicos programables secuenciales                              | 47 |
| 2.1.4 Dispositivos logicos programables mixtos                                    | 52 |
| 2.2 Lenguajes de Programacion   | 53 |
| 2.2.1 Historia  | 53 |
| 2.2.2 Lenguaje de Lista de instrucciones  | 54 |
| 2.2.2.1 Identificacion de variables   | 55 |
| 2.2.2.2 Instrucciones   | 55 |
| 2.2.2.2.1 Instrucciones de seleccion de entrada y salida de operacion             | 55 |
| 2.2.2.2.2 Instrucciones de Temporización y conteo                                 | 57 |
| 2.2.2.2.3 Instrucciones de Control  | 59 |
| 2.2.3 Esquema de contactos  | 61 |
| 2.2.3.1 Identificacion de variables   | 62 |
| 2.2.3.2 Secuencias lógicas  | 64 |
| 2.2.4 Diagrama de funciones   | 64 |
| 2.2.5 GRAFCET   | 65 |
| Capitulo III  |    |
| 3.-PLC's  |    |
| 3.1 Introduccion  | 67 |
| 3.1.1 Estructura Externa  | 72 |
| 3.1.2 Arquitectura Interna  | 74 |
| 3.2 Seccion de Entrada/Salida   | 78 |
| 3.2.1 Módulos de Entradas   | 78 |
| 3.2.2 Módulo de Salidas   | 80 |
| 3.3 El procesador   | 82 |

## **INDICE**

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Capitulo IV</b>   |     |
| <b>4.-Aplicaciones Industriales</b>  |     |
| 4.1 Introducción   | 93  |
| 4.2 Robótica   | 93  |
| 4.3 Línea de Ensamblaje y control  | 97  |
| 4.3.1 La automatización de las operaciones de ensamblaje y control               | 98  |
| 4.3.1.1 La evolución de los puestos de ensamblaje y de control                   | 100 |
| 4.3.1.2 La distribución de las piezas a partir del granel                        | 100 |
| 4.3.1.3 Las transferencias vinculadas circulares o lineales                      | 101 |
| 4.3.1.4 Las transferencias libres modulares                                      | 102 |
| 4.3.1.5 Estructura de un modulo estandar   | 106 |
| 4.3.1.6 Mando del modulo estandar por autómatas programables                     | 107 |
| 4.4 Unidad de ensamblaje y control de motores eléctricos para equipos domésticos | 107 |
| 4.4.1 Anteproyecto y pliego de condiciones funcional                             | 109 |
| 4.4.1.1 Objetivos generales  | 109 |
| 4.4.2 Producción normal automática   | 113 |
| 4.4.2.1 GRAFCET del ciclo de trabajo   | 113 |
| Conclusiones   | 118 |
| Bibliografía   | 120 |



## **CAPITULO I**

### **ANTECEDENTES ELECTRÓNICOS**

#### **1.1 INTRODUCCIÓN**

Un PLC (Controlador Lógico Programable) es una máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en un medio industrial una multitud de procesos secuenciales. Su manejo puede realizarse por componentes eléctricos o electrónicos. En la actualidad se ha popularizado el enfoque de un sistema que realice un conjunto de instrucciones codificadas, las cuales están almacenadas en un dispositivo de memoria y ejecutadas por un microprocesador ahora si se quiere modificar el sistema de control, basta con cambiar las instrucciones codificadas. Tales cambios de software o programación pueden llevarse a cabo a través de un simple teclado hasta con una computadora personal, esto puede realizarse por la flexibilidad de ambos sistemas (el del PLC y la PC), cuando se usa este enfoque flexible se pueden realizar cambios dentro del programa fuente, para mejor desempeño del sistema, esto nos lleva a un Controlador Lógico Programable.

Un PLC en esencia puede hablarse de tres componentes fundamentales los cuales son .

- 1.- Sección de Entrada/Salida
- 2.- El Procesador.
- 3.- El o Los Dispositivos de Programación.

Estos tres componentes se mencionaran a detalle en el capitulo tres del presente trabajo

### 1.1.1. Ventajas y Desventajas de los PLC`s

Aún cuando en principio existen características a fines para la mayoría de los PLC`s no todas ofrecen las mismas ventajas , ello es debido , principalmente a la variedad de los modelos existentes en el mercado (inclusive para una misma marca) y a las innovaciones técnicas que surgen constantemente . Tales consideraciones obligan a referirse a las ventajas que proporciona un PLC de características medias

#### VENTAJAS :

**Flexibilidad.-** En años anteriores cada máquina que empleaba control electrónico requería su propio controlador, es decir igual cantidad de máquinas requerían igual número de controladores, ahora es posible emplear un solo controlador PLC para hacer trabajar cualesquiera de las máquinas, porque bajo el mando de un PLC cada máquina puede tener su propio programa de control

**Mantenimiento del Software y corrección de errores.-** Con un panel tradicional de lógica cableada, cualquier alteración al circuito requiere mucho tiempo para recablear tableros de control. Con un PLC se pueden hacer cambios rápida y fácilmente a través de la terminal de programación y no es necesario recablear , esto implica que si también surge un error en la programación del sistema , este puede corregirse rápidamente

**Número de Contactos elevado.-** Un PLC tiene un gran número de contactos para cada una de las bobinas disponibles para su programación. Para un PLC se requiere programar los contactos adicionales y se tendría disposición automática para posteriores necesidades de control. Es evidente que un número elevado de contactos requiere de suficiente memoria disponible para un PLC.

**Menor Costo.-** El avance tecnológico ha hecho posible la miniaturización de varios equipos, a su vez los ha hecho más económicos. Esto también ha provocado que un PLC con numerosos relevadores, temporizadores, contadores secuenciadores, tambores resulte más económico que su equivalente en equipos de lógica cableada.

**Pruebas preliminares.-** Un circuito de control programado en un PLC, puede ser prearrancado y evaluado en la oficina o en laboratorio. En estas condiciones el programa al ser perforado, observado y modificado si es necesario. En la tecnología de los relevadores, estos equipos deben ser probados en las propias plantas, lo cual puede consumir tiempo invaluable en áreas de producción.

**Observación visual.-** La operación de un circuito programado en un PLC, puede ser observada directamente en una pantalla, tal y como sucede en un momento específico, de esta forma pueden solucionarse problemas más rápidamente. En sistemas de PLC avanzados se pueden programar mensajes al operador para cada posible falla. La descripción de la falla aparece en la pantalla cuando es detectada por el PLC, también se pueden tener descripciones de cada componente del circuito.

**Velocidad de operación.-** Los relevadores tradicionales pueden tomar un tiempo considerable para actuar. La velocidad de operación para ejecutar un programa en un PLC es

muy rápida y está determinada por el tiempo del "scan", el cual es cosa de algunos milisegundos

**Método de Programación.-** La programación de un PLC puede ser llevada a cabo en lenguaje Ladder (escalera), existe también PLC's que pueden ser programados en lenguaje booleano a través de la terminal de programación

**Confiabilidad.-** En general, los equipos de estado sólido son más confiables que los relevadores y temporizadores electromecánicos . Los PLC's están fabricados con componentes electrónicos de estado sólido con altos estándares de confiabilidad

**Documentación .-** Si se requiere , un circuito de control programado en un PLC puede imprimirse en minutos No es necesario buscar en archivos, planos o diagramas . Con un PLC se imprime un circuito, mostrando el estado de los componentes en un momento específico haciendo más fácil la tarea de verificación y mantenimiento

**Seguridad.-** Un programa en el PLC no puede ser cambiado a menos que se tenga código de acceso, al propio programa y la terminal de programación En los tableros de control por relevadores, a menudo se realizan cambios sin que se lleven registros

#### **DESVENTAJAS :**

**Nueva Tecnología .-** Resulta complejo cambiar la manera de pensar del personal técnico, de la tecnología tradicional de Relevadores hacia la tecnología actual de PLC's.

**Aplicaciones en programas fijos.-** Un PLC tiene múltiples elementos que pueden adecuarse a diversos programas. Si el circuito de control es pequeño y prácticamente no tendrá cambios, es posible que un PLC no sea necesario, además los relevadores tradicionales serían menos costosos. El PLC es más efectivo cuando se realizan cambios periódicos en los sistemas de control.

**Consideraciones Ambientales.-** Ciertos procesos ambientales en donde se manejan temperaturas extremas así como vibraciones las cuales interfieren con equipos electrónicos de los PLC's lo que limita su uso en estas aplicaciones.

**Operaciones a prueba de falla.-** En sistemas de relevadores, el botón de paro desconecta circuitos y si la alimentación falla, el sistema para. Además, los sistemas por relevador no restablecen la energía cuando esta regresa. Esto puede programarse con un PLC, sin embargo en ciertos PLC's se necesita aplicar un voltaje a una entrada para parar el equipo. Estos sistemas no son contra falla, esta desventaja puede superarse agregando relevadores de seguridad en los sistemas controlados por PLC.

## 1.2 SISTEMAS DIGITALES INDUSTRIALES

En cualquier sistema industrial, los circuitos de control constantemente reciben y procesan información acerca de las condiciones en el sistema. Esta información representa datos tales como las posiciones mecánicas de partes móviles, temperaturas en lugares diversos, a presión existente en tuberías, ductos, cámaras, velocidades de flujo de fluidos, fuerzas aplicadas a varios dispositivos de detección, velocidades de movimientos, etc. Los sistemas de circuitos de control deben recoger toda esta información empírica y combinarla con la información suministrada por los operadores. Esta información, por lo común tiene la forma de arreglos de interruptores de

selección y/o instalaciones de potenciómetros selectores. La información introducida por el operador representa la respuesta deseada del sistema o, en otras palabras, los resultados de producción esperados del sistema.

Con base en la comparación entre la información del sistema y la aportada por los operadores, los circuitos de control "toman decisiones". Estas decisiones están relacionadas con la próxima acción del sistema mismo, como por ejemplo arrancar o apagar un motor, aumentar o disminuir la velocidad de un movimiento mecánico, abrir o cerrar una válvula de control, o incluso apagar totalmente el sistema debido a una condición de inseguridad.

Obviamente, no hay ningún raciocinio real en la toma de decisiones hecha por los circuitos de control. Los circuitos de control solamente reflejan los deseos del diseñador que previo a todas las condiciones posibles de entrada e incluyó en el diseño las respuestas apropiadas de los circuitos. Sin embargo, como los circuitos de control imitan los pensamientos de su diseñador, suelen llamarse circuitos de "toma de decisiones" o más comúnmente circuitos lógicos de los sistemas digitales.

Un circuito de control eléctrico para controlar un sistema industrial puede ser dividido en tres partes distintas. Estas partes o secciones son Entrada, Lógica y Salida. La sección de entrada consiste en todos los dispositivos que proporcionan a los circuitos información del sistema y las disposiciones del operador. Algunos de los dispositivos de entrada comunes son los botones, interruptores mecánicos, interruptores de presión y fotoceldas.

La sección lógica es la parte del circuito que actúa sobre información proporcionada por la sección de entrada, toma decisiones con base en la información recibida y envía órdenes a la sección de salida. Los circuitos de la sección lógica están constituidos comúnmente con relevadores magnéticos, circuitos discretos de transistores. Los dispositivos a base de fluidos

también se pueden utilizar para funciones de lógica, pero son mucho menos comunes que los métodos electromagnéticos y electrónicos. Las ideas esenciales de los circuitos lógicos son universales, sin importar los dispositivos concretos que se utilicen para construirlos.

La sección de salida es también denominada sección de dispositivos de actuación o actuadores, consiste en los dispositivos que recogen las señales de salida de la sección lógica y convierten o amplifican estas señales a una forma útil. Los actuadores más comunes son arrancadores de motores y contactos automáticos, bobinas de solenoides y lámparas indicadores. La relación entre estas tres partes es mostrada en la figura 1.1.

Durante mucho tiempo, las funciones lógicas en la industria fueron realizadas casi exclusivamente por relevadores operados mecánicamente y la lógica de relevadores aun goza de popularidad. A manera de ejemplo haciendo referencia a la figura 1.2, para hacer un análisis respecto a la lógica digital empleada en la actualidad por los PLC's y la lógica de relevadores. Esta figura muestra que el relevador A (RA) se energiza si el interruptor limite (LS1) y el interruptor de presión 4 (PS4) se cierran.

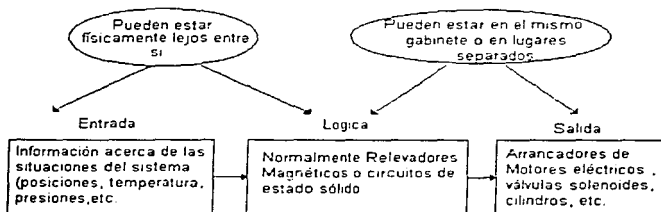


Figura 1.1 Relación entre las tres partes de un sistema de control industrial

El diseño del circuito de la figura 1.2 exige que el relevador A se energice si una cierta combinación de sucesos ocurre en el sistema. La combinación necesaria es el cierre del LS1 por cualquier aparato que opere el LS1 y, a la vez, el cierre del PS4 por cualquier líquido o gas que afecte al PS4. Si ambas cosas ocurren a la vez, el relevador A quedara energizado

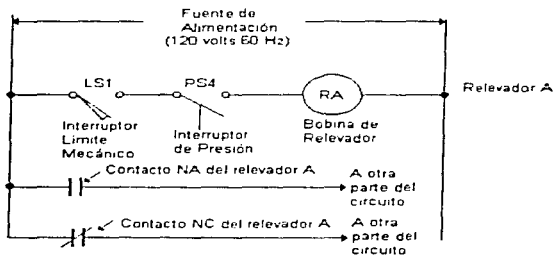


Figura 1.2 Un circuito lógico con relevadores

### 1.2.1 Circuitos Lógicos de Relevadores y Transistores

Si cualesquiera de los dos o ambos interruptores se abren, entonces el RA se desenergizará. Si el RA se desenergiza, los contactos controlados por el RA regresan a su estado normal. Esto es los contactos normalmente cerrados (NC) se cierran y los contactos normalmente abiertos (NA) se abren. Por el contrario, si el RA se energiza todos los contactos asociados con el RA cambian de estado. Los contactos NC se abren y los contactos NA se cierran. La figura 1.2 muestra un solo contacto de cada tipo. Los relevadores industriales en realidad frecuentemente tienen varios contactos de cada tipo (varios NC y varios NA). Aunque este circuito es bastante



simple, ilustra las dos ideas fundamentales de circuitos lógicos con relevadores, y por el mismo de todos los circuitos lógicos .

1 - Un resultado positivo (activación del relevador ) esta condicionado a otros varios sucesos . Las condiciones exactas necesarias dependen de como los contactos de alimentación del interruptor se conecten . En la figura 1 2 tanto el LS1 como el PS4 deben cerrarse porque los contactos están conectados en serie . Si los contactos estuvieran conectados en paralelo, cualesquiera de los dos interruptores que fuera cerrado activaría el relevador .

2.- Una vez que ocurre un resultado positivo, el resultado se puede ramificar a muchas otras ubicaciones del circuito . Puede sentir así sus efectos en varios puntos a lo largo de los circuitos de control . La figura 1 2 muestra al RA con un contacto NA y un contacto NC con cada contacto que conduce hacia algún otro destino en el circuito total . Por lo tanto , la acción del RA se sentiría en otros dos destinos del circuito .

Por los motivos anteriores se observa como toman decisiones los circuitos con relevadores . En términos simples, cuando dos contactos se conectan en serie (véase figura 1 3), la función del circuito se llama función AND (Y), porque el primer contacto y el segundo contacto deben cerrarse para energizar la carga ( activar el relevador) . Cuando dos contactos se conectan en paralelo, la función del circuito es una función OR (O), puesto que el primero o el segundo contacto deben cerrarse para energizar la carga . Estas dos configuraciones básicas de circuitos con relevador son representadas conjuntamente con circuitos de estado sólido para implementar las mismas funciones .

En la lógica de estado sólido, en vez de contactos que se abren o se cierran, las líneas de entrada están en el nivel *bajo* (Low) o en *alto* (Hi). Por lo tanto en circuitos de estado sólido de la figura 1.3, el hecho de que la línea X se vuelva *alto* es equivalente a cerrar el contacto del RX en el circuito con relevadores. El que la línea X sea *bajo* equivale a tener abierto el contacto de RX. Lo mismo sucede con las líneas Y y Z.

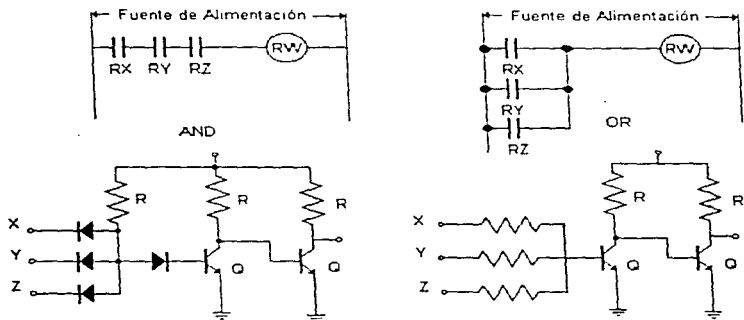


Figura 1.3.- Funciones lógicas AND, OR expresadas con relevadores y con circuitos de estado sólido.

En lo que concierne al resultado del circuito, en un circuito con relevadores el resultado se considera la energización de una bobina de relevador y la consiguiente conmutación de los

contactos controlados por ese relevador. En un circuito de estado sólido el resultado es simplemente la línea de salida que pase al estado *alto*.

En la figura 1.3 se muestra como los circuitos de estado sólido pueden desempeñar funciones de lógica, estas funciones de lógica llevan a los transistores del estado de corte al estado de saturación y viceversa, estos son llevados a través de la polarización de un voltaje alto aplicado en la base, así como un voltaje bajo aplicado posteriormente a la misma. La salida de los circuitos lógicos representaría los voltajes *colector-emisor* de saturación para el mismo estado de los transistores y un voltaje alto para el estado de corte, el cual significa que no existe circulación de corriente en los transistores. Sería complicado y confuso mostrar cada transistor, diodo y resistencia en un diagrama lógico de estado sólido. En vez de una representación esquemática de este tipo de arreglos, se han desarrollado circuitos lógicos más complejos al conectar muchos circuitos lógicos simples individuales. A estos circuitos lógicos se han representado a través de compuertas individuales denominadas *compuertas lógicas*, este tipo de compuertas forman familias lógicas, que viéndolas desde este punto de vista, ofrecen ventajas sobre la implementación de las mismas a través de transistores, estas ventajas se enlistan algunas de ellas a continuación :

- 1.- Velocidad de operación más rápida
- 2.- Menor consumo de energía
- 3.- La capacidad de conectar en cascada varias compuertas de la misma familia (Fan Out).
- 4.- Mínimo ruido adherido en la conmutación de estados
- 5.- Fabricación en línea de un sinnúmero de componentes de la misma familia
- 6.- Fabricación de diversas compuertas lógicas dentro del mismo CI.

### 1.2.2 Convertidores de Señal

En la mayoría de los casos los circuitos lógicos (sobre todo los de la familia TTL) conmutan entre valores de 0 y +5 volts( hay que hacer notar que los de la familia CMOS emplean voltajes más altos que los de la familia TTL, estos valores se encuentran entre +/- 20 volts), para los sistemas industriales resulta complejo utilizar los mismos voltajes, por lo regular estos procesos utilizan voltajes de alimentación más altos (alrededor de lo 100 volts o más), por este tipo de situaciones se hace necesario que la familia de compuertas utilizadas para este proposito se adecuen a estas necesidades. Los dispositivos de entrada deben operar confiablemente en condiciones de voltaje y corriente relativamente bajos para ellos. A veces los dispositivos de recopilación de información no pueden operar confiablemente en condiciones de bajo voltaje. Hay dos razones importantes para esta falta de confiabilidad. Primero, los dispositivos de entrada pueden estar físicamente alejados de la sección lógica de toma de decisiones. Por lo tanto los tendidos de cable entre los dispositivos de entrada y los circuitos lógicos son largos y necesariamente tienen una resistencia más alta que si fueran más cortos. La resistencia alta ocasiona una más alta caída de voltaje por el efecto de la ley de Ohm a lo largo del recorrido. Si el voltaje inicial es pequeño, no pueden permitirse grandes caídas de voltaje en los cables, porque la lógica podría confundir un nivel alto con un nivel bajo. Es mejor comenzar con un voltaje grande para que el sistema pueda tolerar algunas pérdidas de voltaje en los cables de conexión.

La otra razón, las superficies de contacto de los dispositivos de entrada tienden a acumular partículas fragmentadas y polvo ambientales; óxidos y otros revestimientos químicos pueden formarse también en las superficies. Estas cosas ocasionan que aumente la resistencia del contacto. Haciéndolo a veces imposible que un voltaje pequeño pueda vencer la resistencia formada en el. Se necesita un nivel alto de voltaje para asegurar que la resistencia aumentada pueda ser vencida.

Además, el mismo acto de conectar un voltaje alto crea arcos entre las terminales del contacto. Estos arcos queman óxidos y residuos y conservan limpias las superficies. En muchas circunstancias industriales, por lo tanto, es absolutamente necesario utilizar voltajes altos para controlar los dispositivos de entrada. Cuando esto se hace, debe agregarse un dispositivo de enlace para convertir la señal de entrada de alto voltaje a una señal lógica de bajo voltaje. Tales dispositivos se llaman convertidores de señal o interfaces de entrada lógica. En la figura 1-4 muestran el diagrama esquemático industrial de que contiene tres convertidores de señal.

La representación esquemática es simple pero representativa de la conversión de niveles lógicos altos de voltaje a niveles bajos.

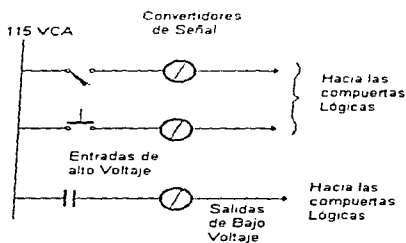


Figura 1-4 Convertidores de Señal, para convertir señales de entrada altas a señales lógicas de bajo voltaje.

La representación eléctrica interna de este tipo de convertidores es mostrada en la figura 1.5, estas se pueden emplear para convertir voltajes altos de entrada de CA de 120 volts a un nivel lógico de CD de +5volts. Estos tipos de convertidores de señales proporcionan aislamiento

eléctrico entre circuitos de entrada de alto voltaje y circuitos lógicos de bajo voltaje en virtud del acoplamiento magnético entre bobinas del transformador

El aislamiento eléctrico entre los dos circuitos es deseable porque tiende a prevenir que el ruido electromagnético o electrostático generado por los circuitos de entrada pase a los circuitos lógicos. En un sistema de lógica industrial, la captación de ruido en los circuitos del dispositivo de entrada es muy a menudo un problema. Esto se debe al largo tendido de conductores entre el panel de lógica y los dispositivos de entrada y la tendencia a llevar los cables en líneas que van cerca de cables de energía. Los cables de energía que mueven motores y equipos de distribución son inherentemente ruidosos y pueden fácilmente introducir ruido eléctrico indeseable en los cables que conectan los dispositivos de entrada y los circuitos lógicos

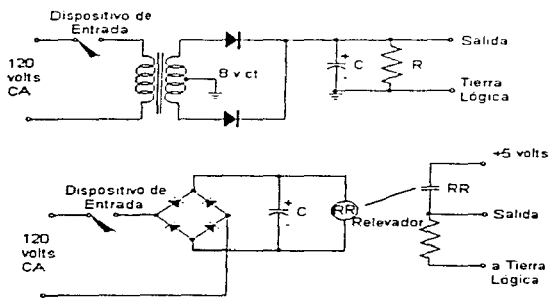


Figura 1.5 Representación eléctrica de los convertidores de señales de alto voltaje a bajo voltaje.

### 1.3 SISTEMAS LÓGICOS SECUENCIALES.

A parte de su utilidad en la construcción de compuertas lógicas para la toma de decisiones, los interruptores transistorizados se utilizan también para construir un circuito con una memoria rudimentaria, el bien conocido flip-flop. A su vez los flip-flops pueden combinarse con compuertas lógicas para construir contadores y circuitos relacionados

Un circuito secuencial controlado por reloj consta de un grupo de multivibradores biestables y compuertas combinatoria conectados para formar una trayectoria de retroalimentación. Los flip-flops son fundamentales porque, en su ausencia el circuito se reduce a un circuito puramente combinatorio (siempre que no haya retroalimentación entre las compuertas). Un circuito con flip-flops se considera un circuito secuencial aún en ausencia de compuertas combinatorias. Los circuitos que contienen multivibradores biestables suelen clasificarse por la función que desempeñan más que por el nombre de circuito secuencial. Dos de estos circuitos se conocen como registros y contadores

#### 1.3.1 Registros

Un registro es un grupo de flip-flops o multivibradores biestables, cada uno capaz de almacenar un bit de información. Un registro de  $n$  bits tiene un grupo de  $n$  flip-flops y puede almacenar cualquier información binaria de  $n$  bits. Además de los flip-flops un registro puede tener compuertas combinatorias que realicen ciertas tareas de procesamiento de datos. En su definición más amplia, un registro consta de un grupo de flip-flops y compuertas que efectúan su transición. Los multivibradores biestables contienen la información binaria y las compuertas controlan cuando y como se transfiere nueva información al registro.

Un contador es básicamente un registro que pasa por una secuencia determinada de estados con la aplicación de pulsos de reloj. Las compuertas del contador se conectan en tal forma que produzca la secuencia prescrita de estados binarios. Aunque los contadores son un tipo de registro especial, es común diferenciarlos dándoles un nombre especial.

Los registros sirven para almacenar y manipular información binaria. Los contadores se emplean en circuitos que generan señales de sincronización para secuenciar y controlar las operaciones en un sistema digital. El conocimiento de la operación de estos es indispensable para entender la organización y el diseño de sistemas de control industrial.

En el mercado se pueden encontrar diversos tipos de registros. El más simple es el que consta exclusivamente de flip-flops sin ninguna compuerta externa. La figura 1.6 muestra un registro de este tipo que se construye con cuatro multivibradores de tipo D. La entrada de reloj común activa todos los flip-flops en el flanco ascendente de cada pulso y los datos binarios disponibles en las cuatro entradas se transfieren al registro de cuatro bits. Las cuatro salidas se pueden muestrear en cualquier momento para obtener la información binaria almacenada en el registro. La entrada de puesta a ceros va a las entradas R de los cuatro multivibradores. Cuando esta entrada cambia a 0, todos los flip-flops se reinician en forma asincrónica. La entrada de puesta a ceros es útil para poner en ceros al registro (estado 0) antes de su operación sincronizada por el reloj. Las entradas R deben mantenerse en el estado 1 lógico durante la operación normal controlada por reloj. El símbolo CI del reloj y 1D de la entrada indica que el reloj habilita la entrada D pero no la entrada R.

La mayoría de los sistemas digitales tienen un generador de señales de reloj maestro que proporciona una serie continua de pulsos de reloj. Los pulsos de reloj se aplican a todos los multivibradores biestables y registros del sistema, el reloj maestro actúa como un tambor que suministra un pulso o latido constante a todo el sistema. Se debe utilizar una señal de control



aparte de decidir que pulso de reloj específico tendrá un efecto en un registro en particular. Los pulsos de reloj deben eliminarse del registro cuando no deba modificarse su contenido. Esto se puede realizar con una entrada de control de carga comparada (compuerta AND) con el reloj

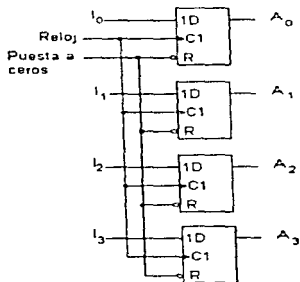


Figura 1.6.- Registro de cuatro bits

### 1.3.2 Registros de Corrimiento

Un registro que puede correr su información binaria en una o ambas direcciones recibe el nombre de registro de corrimiento. La configuración lógica de un registro de corrimiento consta de una cadena de flip-flops en cascada, donde la salida de un multivibrador está conectada a la entrada del siguiente flip-flop. Todos los flip-flops reciben pulsos de reloj comunes que inician el corrimiento de una etapa a la siguiente. El registro de corrimiento más simple posible es aquel que utiliza solo multivibradores biestables, como se indica en la figura 1.7. La salida de un flip-flop

dado se conecta a la entrada D del flip-flop a su derecha. El reloj es común a todos los multivibradores. La entrada en serie determina el elemento de la última posición a la izquierda durante el corrimiento. La salida en serie se toma de la salida del último flip-flop a la derecha.

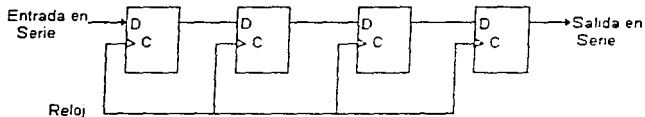


Figura 1.7 Registro de corrimiento de 4 bits

## 1.4 CONTADORES

Un contador digital es un circuito que cuenta y recuerda el número de pulsos de entrada que han ocurrido. Cada vez que otro pulso de entrada se entrega a la terminal del reloj de un contador, el número almacenado en el circuito se incrementa en uno. Por supuesto, dado que los contadores digitales se construyen con compuertas lógicas y flip-flops, deben operar en el sistema de numeración binario.

El símbolo esquemático para un contador de décadas ascendente se muestra en la figura 1.8. Los bits de salida se simbolizan como D,C,B,A, con valores numéricos correspondientes de 8,4,2 y 1. Los cuatro bits de salida se restablecen a 0 cuando la terminal CL del contador se pone en su estado activo bajo (Low).

Cuando un contador de décadas ascendente se desborda de 9 a 0, su bit D de salida hace una transición negativa. Por lo tanto, la terminal de salida D se puede conectar directamente a la

terminal CLK del siguiente contador de décadas más significativo cuando dos o más contadores se conectan en cascada

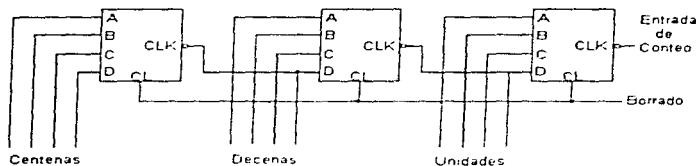


Figura 1.8 Símbolos de caja negra de un contador de décadas.

## 1.5 DECODIFICADORES

En muchas aplicaciones industriales que utilizan contadores de décadas, los operadores del sistema colocan un interruptor de selección de 10 posiciones para "vigilar" el contador y tomar algún tipo de acción cuando el estado del contador coincida con la lectura del interruptor. Esta idea es ilustrada en la figura 1.9. Esta aplicación es encontrada con frecuencia en los circuitos industriales de control de ciclo.

El contador de décadas tiene cuatro líneas de salida D,C,B,A, que contienen el código binario del número almacenado en el contador. La caja entre el contador y el interruptor de selección de la figura 1.9 se llama decodificador porque toma información codificada en binario y la convierte en información decimal que los seres humanos pueden comprender. Esto es si la información binaria representa el dígito decimal 2 (DCBA = 0010), el decodificador convierte la línea de salida 2 en *alto*.

Si la información binaria representa el dígito decimal 3 (DCBA = 0011), el decodificador convierte la línea de salida 3 en *alto* y así sucesivamente. Puesto que convierte números codificados a números decimales no codificados se le llama decodificador.

Si la salida del decodificador es igual que la colocación del interruptor de selección la terminal común del interruptor se hará *alta*. La salida total del circuito va a *alto* cuando el contador alcanza la colocación del interruptor selector de 10 posiciones. El estado *alto* en la salida podría entonces usarse para realizar alguna acción en el sistema. Así es como un interruptor de selección operando manualmente puede "vigilar" a un contador y tomar alguna acción cuando este alcanza una cierta cuenta.

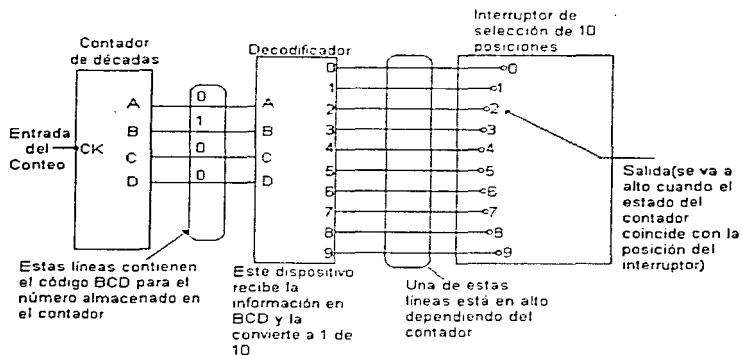


Figura 1.9 Combinación de un contador de décadas, un decodificador de 1 de 10 y un interruptor de selección de 10 posiciones.

## 1.6 TEMPORIZADORES

En el control industrial, frecuentemente es necesario introducir un retardo de tiempo entre la ocurrencia de dos sucesos. Por ejemplo, considere una situación en la que dos motores grandes deben arrancar más o menos al mismo tiempo. Si ambos motores se energizan desde el mismo bus de alimentación es una mala práctica conectar ambos a través de las líneas en el mismo, porque los motores grandes demandan corrientes de irrupción bastante grandes en el instante de arrancar y continúan consumiendo muchísima más corriente de la nominal durante varios segundos después de arrancar. La corriente del motor baja a su valor nominal solo cuando la armadura del motor ha acelerado hasta llegar a la velocidad normal de funcionamiento. Durante el tiempo en que el motor consume esta corriente excedente, la capacidad de corriente del bus de alimentación se puede forzar. Este tiempo no es el momento para requerir del bus de alimentación que arranque otro motor grande. Los fusibles o interruptores del circuito en las líneas de alimentación se pueden abrir, desconectando el bus entero. Aún cuando eso no suceda, la combinación de dos corrientes de arranque pueden muy bien ocasionar una excesiva reducción de voltaje en las líneas de abastecimiento, de lo que resultaría en la aplicación de un voltaje terminal más bajo a los motores. Esto prolonga el periodo de aceleración y puede ocasionar calentamiento de los devanados del motor mismo.

Como es observado, de lo anterior, cuando dos motores grandes son energizados por el mismo bus, debe haber un retardo entre sus instantes de arranque. Esto se puede realizar con los relevadores de retardo, como se observa en la figura 1-10.

Esta figura muestra dos grandes motores trifásicos de inducción, que son controlados por un bus común de 460 Volts. Los contactos que conmutan las bobinas del motor a través de las líneas son controlados por el arrancador del motor (MSA) y el arrancador del motor B (MSB).

La situación del control requiere que el motor A y el motor B arranquen aproximadamente al mismo tiempo, pero no es necesario que arranque exactamente al mismo tiempo. Cuando se cierran los contactos de arranque se energiza la bobina del MSA y también energiza el relevador 1 (R1) o contactos del MSA arrancan al motor A, el motor toma una gran corriente de arranque o irrupción, quizá tanto como el 1000% de la corriente a plena carga nominal.

El contacto controlado por el relevador R1 en la figura (CTNA - Circuito temporizado normalmente abierto), no se cierra de inmediato, demora en cerrarse hasta que ha transcurrido cierto tiempo, para cuando ha pasado ese tiempo y se cierra para energizar el MSB, el motor A ha alcanzado su velocidad nominal y en ese momento disminuye la demanda de corriente

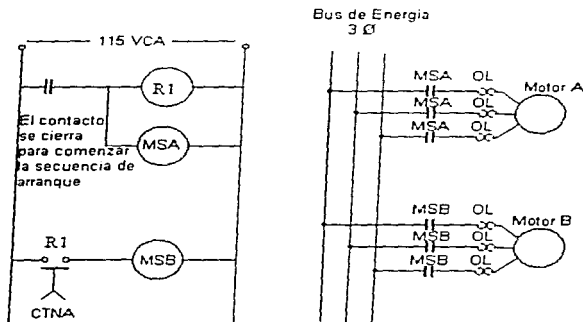


Figura 1.10 Circuito con relevadores con contacto de retardo de tiempo y circuito de potencia asociado al de control de relevadores.

### 1.6.1 Temporizadores de estado sólido

En el sistema de control de estado sólido, se reproduce la acción de los relevadores de retardo de tiempo con temporizadores de estado sólido, en la figura 1.11 se reproduce la acción de los diferentes tipos de temporizadores a través de las formas de onda en la señal de salida de los mismos

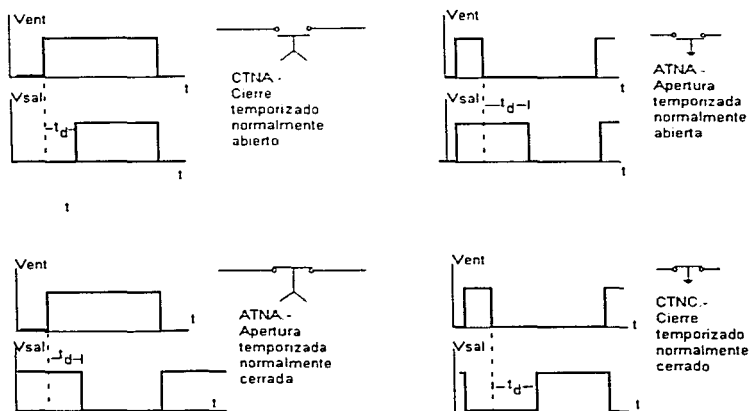


Figura 1.11 Formas de onda de entrada y salida de los temporizadores

En la figura 1.11 se presenta la equivalencia entre las cuatro configuraciones de temporizadores y los cuatro tipos de contactos de relevisor de retardo. Con los circuitos digitales resulta más fácil el obtener las formas de onda en los retardos correspondientes para cada aplicación específica. Dependiendo de la aplicación este retardo puede obtenerse por medio de contadores y registros de corrimiento, aunque en su forma más simple estas pueden obtenerse a través de circuitos simples RC y por medio de estos proporcionar dicho retardo.

## 1.7 TIRISTORES

En los párrafos anteriores se menciona la condición en la cual se puede proporcionar los pulsos equivalentes para el control de procesos industriales, estos procesos requieren de sistemas electrónicos que manejen una gran cantidad de potencia (es decir voltajes elevados y corrientes elevadas).

Así como en estos procesos también existen numerosas operaciones industriales que requieren la entrada de una cantidad variable y controlada de energía eléctrica. Cuatro de las más comunes de estas operaciones son alumbrado, control de velocidad de motores, soldadura eléctrica y calentamiento eléctrico. Siempre es posible controlar la cantidad de energía eléctrica suministrada a una carga usando transformadores variables para crear un voltaje de salida secundario. Sin embargo cuando se requieren niveles de energía altos, los transformadores variables son voluminosos y caros, además de requerir mantenimiento frecuente.

Otro método de controlar la energía eléctrica de una carga es la inserción de un reostato en serie con la carga para limitar y controlar la corriente. De nuevo, cuando se requieren niveles de energía altos, los reostatos resultan grandes, caros, requieren mantenimiento, y desperdician grandes cantidades de energía. En el control industrial de energía, los reostatos no son una alternativa en lugar de los transformadores variables. Una alternativa que evita todo este tipo de inconvenientes mencionados, es el empleo de componentes electrónicos de alta potencia, es decir



que manejen tensiones de operación altas y corrientes altas. Este tipo de componentes son llamados Tiristores, los más comunes utilizados en sistemas de control industrial son el SCR (Rectificador Controlado de Silicio) y el TRIAC.

### 1.7.1 SCR

El SCR es un dispositivo previsto de tres terminales, este puede considerarse como unidireccional y la corriente solo puede fluir de ánodo a cátodo.

El SCR es un dispositivo semiconductor de cuatro capas de estructura pnpn con tres uniones pn. Tiene en su forma más común tres terminales: un ánodo, cátodo y compuerta, los elementos pueden ser unidireccionales o bidireccionales. En la figura 1.12 muestra el símbolo del tiristor (SCR) y una sección recta de tres uniones PN. Los Tiristores son fabricados con la técnica denominada por difusión.

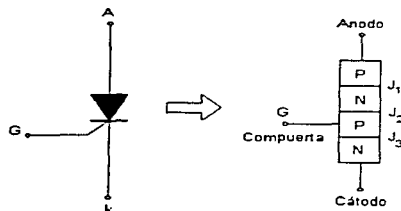


Figura 1.12 Símbolo y construcción de un SCR..

De la figura 1.12 cuando el voltaje del ánodo se hace positivo con respecto al cátodo, las uniones J<sub>1</sub> y J<sub>3</sub> tienen polarización en directa. La unión J<sub>2</sub> tiene polarización inversa, y solo fluirá

una pequeña corriente de fuga del ánodo al cátodo. Se dice entonces que el tiristor está en condición de bloqueo directo o en estado desactivado llamándose a la corriente de fuga como corriente de estado inactivo  $I_D$ . Se dice entonces que el tiristor está en condición de bloqueo directo o en estado desactivado llamándose a la corriente de fuga como corriente de estado inactivo  $I_D$ .

Se dice entonces que el tiristor está en condición de bloqueo directo o en estado desactivado llamándose a la corriente de fuga como corriente de estado inactivo  $I_D$ . Si el voltaje de ánodo a cátodo  $V_{AK}$  se incrementa a un valor lo suficientemente grande, la unión  $J_2$  polarizada inversamente entrará en ruptura esto se conoce como ruptura por avalancha y el voltaje correspondiente se llama voltaje de ruptura directa  $V_{DR}$ . Dado que las uniones  $J_1$  y  $J_3$  tienen polarización en directa, habrá un movimiento libre de portadores a través de las tres uniones, que provocará una gran corriente directa del ánodo. Se dice entonces que el dispositivo está en estado de conducción o activado. La caída de voltaje se deberá a la caída óhmica de las cuatro capas y esta será pequeña, por lo común es de 1 volt. En el estado activo la corriente del ánodo está limitada por una impedancia o una resistencia externa,  $R_L$  tal que y como se muestra en la figura 1.13.

La corriente del ánodo debe ser mayor que un valor conocido como corriente de enganche  $I_L$ , a fin de mantener la cantidad requerida de flujo de portadores a través de la unión, de lo contrario al reducirse el voltaje del ánodo a cátodo, el dispositivo regresará a la condición de bloqueo. La corriente de enganche  $I_L$  es la corriente del ánodo mínima requerida para mantener el tiristor en estado de conducción inmediatamente después de que ha sido activado y se ha retirado la señal de la compuerta. Véase la curva característica  $I_A$  vs  $I_C$  común de un SCR en la figura 1.14.

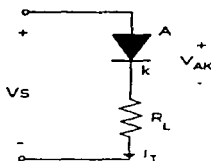


Figura 1.13 Polarización del SCR

Una vez activado el tiristor se comporta como un diodo en conducción y ya no hay control sobre el dispositivo. El tiristor seguirá conduciendo, porque en la unión  $J_2$  no existe una capa de agotamiento debida a movimientos libres de los portadores. Sin embargo, se reduce la corriente directa del ánodo por debajo de un nivel conocido como corriente de mantenimiento  $I_H$ , se genera una región de agotamiento alrededor de la unión  $J_2$  debida al número reducido de portadores, el tiristor estará entonces en estado de bloqueo.

La corriente de mantenimiento es del orden de los miliamperes y es menor que la corriente de enganche  $I_L$ . Esto significa que  $I_L > I_H$ . La corriente de mantenimiento  $I_H$  es la corriente de ánodo mínima para mantener el tiristor en estado de régimen permanente.

Los Tiristores que mayor aplicación han tenido dentro de la industria son el SCR (Rectificador Controlado de Silicio) y el TRIAC su característica principal es que normalmente permanecen bloqueados hasta el momento en el cual se les hace conducir, actuando sobre el electrodo de control denominado compuerta.

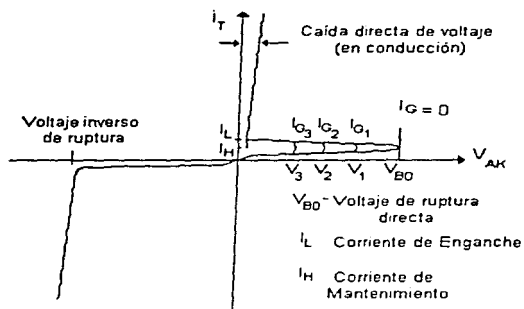


Figura 1.14 Curva característica del SCR.

En el SCR se pueden considerar tres tipos de polarización :

- 1.- Polarización Inversa - Condición en la cual el SCR está bloqueado y no existe conducción, las condiciones de tensión para polarización inversa suelen ser especificadas por el fabricante.
- 2.- Polarización Directa y bloqueado - Condición en la cual el ánodo es más positivo que el cátodo pero no existe disparo de compuerta
- 3.- Polarización Directa o de conducción - En esta condición el SCR conduce, pues además de tener una tensión positiva entre ánodo y cátodo, existe disparo de la compuerta, este a su vez debe ser lo suficientemente grande para que exista conducción, El SCR mientras conduce , se

comporta como un diodo y solo se bloquea cuando la corriente directa cae por debajo de la corriente de mantenimiento

#### **Activación del SCR.**

Un tiristor se activa incrementando la corriente del ánodo , esto se puede llevar a cabo mediante una de las siguientes formas:

- 1.- **Térmica** - Si la temperatura de un tiristor es alta , habrá un aumento en el número de pares electrón hueco, lo que aumentará las corrientes de fuga. Este tipo de activación puede causar una fuga térmica que por lo general se evita
- 2.- **Luz** - si se permite que la luz llegue a las uniones de un tiristor, aumentará los pares electrón - hueco pudiéndose activar el tiristor. La activación de Tiristores por luz se logra al permitir que esta llegue a los discos de silicio
- 3.- **Alto voltaje** - si el voltaje directo ánodo - cátodo es mayor que el voltaje de ruptura directo  $V_{BO}$ , fluirá una corriente de fuga suficiente para iniciar una activación regenerativa. Este tipo de activación puede resultar destructiva por lo que se debe evitar
- 4.- **dv/dt** Cuando la elevación del voltaje ánodo - cátodo es alta , la corriente de carga puede dañar el tiristor, por lo que el dispositivo debe protegerse contra variaciones de alto voltaje. Los fabricantes especifican la máxima variación permisible de los Tiristores

**Corriente de compuerta** Si un tiristor está polarizado en directa, la inyección de una corriente de compuerta al aplicar un voltaje positivo de compuerta entre la compuerta y las terminales del cátodo activará al tiristor. Conforme aumenta la corriente de compuerta, se reduce el voltaje de bloqueo directo, tal como se aprecia en la figura 1-14.

La figura 1.15 muestra la forma de onda de la corriente del ánodo, inmediatamente después de la aplicación de la señal de compuerta y la conducción de un tiristor.  $t_{on}$  se define como el intervalo de tiempo entre el 10% de la corriente de compuerta de régimen permanente ( $0.1 I_G$ ) y el 90 % de la corriente activa del tiristor en régimen permanente ( $0.9 I_T$ ).  $t_{on}$  es la suma del tiempo de retraso  $t_d$  y el tiempo de elevación  $t_r$ .  $t_d$  se define como el intervalo de tiempo entre el 10 % de la corriente de compuerta ( $0.1 I_G$ ) y el 10 % de la corriente activa del tiristor ( $0.1 I_T$ ).  $t_r$  es el tiempo requerido para que la corriente del ánodo se eleve del 10 % del estado activo ( $0.1 I_T$ ) al 90% de la corriente en estado activo ( $0.9 I_T$ ), estos tiempos se ilustran en la figura 1.15

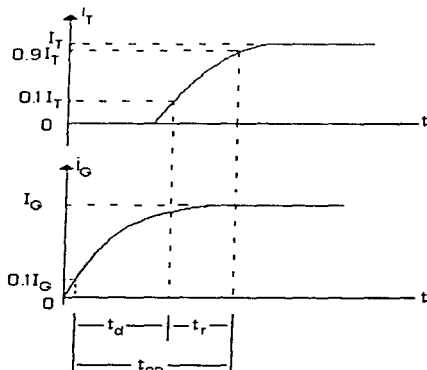


Figura 1.15 Formas de onda de corriente de ánodo y compuerta para los SCR

Se deben tomar en cuenta los siguientes puntos en el diseño de un circuito de control de compuerta

- 1.- La señal de compuerta debe eliminarse después de activarse el tiristor. Una señal continua de compuerta aumentaría la pérdida de potencia en la unión de la compuerta
- 2.- Mientras el tiristor este en polarización inversa, no debe haber señal de compuerta de lo contrario el tiristor puede fallar debido a la corriente de fuga incrementada
- 3.- El ancho del pulso de la compuerta  $t_c$ , debe ser mayor que el tiempo requerido para que la corriente del ánodo se eleve al valor de corriente de mantenimiento  $I_H$ . En la práctica, el ancho del pulso  $t_G$  por lo general se diseña mayor que el tiempo de activación  $t_{on}$  del tiristor.

### 1.7.2 TRIAC

El caso de los SCR funcionan como rectificadores de media onda para la tensión alterna, esto limita su aplicación en la misma, como la misma tensión alterna tiene  $360^\circ$  de ángulo de conducción para la mayoría de las aplicaciones con SCR se encuentran limitadas por este inconveniente.

A no ser por la conexión antiparalelo de los mismos SCR, al campo de aplicaciones se vería reducido. Esta conexión mostrada en la figura 1.16 (a) funciona para conducción de los  $360^\circ$  de la tensión alterna.

En la misma figura es mostrado el símbolo de el TRIAC. Este dispositivo difiere de un SCR en que al encenderse puede conducir corriente en cualquier dirección. Cuando el triac es

apagado, no puede fluir corriente entre las terminales principales, sin importar la polaridad del voltaje externo aplicado.

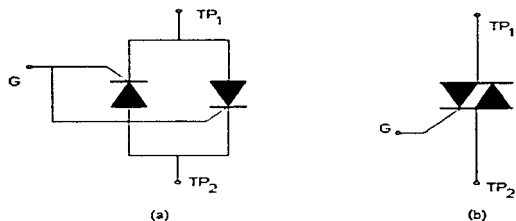


Figura 1.16 Conexión Antiparalelo de dos SCR's y Símbolo del TRIAC.

El TRIAC, por lo tanto, actúa como interruptor abierto, cuando este componente enciende, hay una trayectoria de corriente de muy baja resistencia de una terminal hacia la otra. Los TRIAC's ofrecen mas ventajas que los interruptores mecánicos, porque no tienen rebotes en los contactos, no existen arcos entre contactos parcialmente abiertos y operan con mucha más rapidez que los interruptores mecánicos, proporcionando un control de corriente más preciso.

### 1.7.2.1 Métodos de Disparo de los TRIAC's

Un circuito simple y sencillo de disparo de los TRIAC's es mostrado en la figura 1.17, en ella se muestra la carga delante de el circuito de disparo, este tipo de circuito es empleado para protección de la compuerta del mismo, esto ocurre por que esta es polarizada por tensiones muy por debajo de la tensión nominal del componente



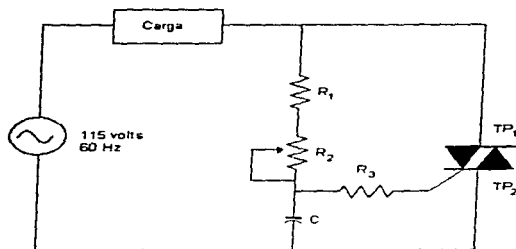


Figura 1.17 Circuito simple de disparo de un TRIAC.

Existen una gran diversidad de circuitos de disparo, pero los más útiles en procesos industriales son los que proporcionan una secuencia de pulsos digitales de magnitud pequeña, y que pueden disparar una compuerta de un TRIAC, estos circuitos son en esencia registros de corrimiento, contadores, etc.

Que con los arreglos correspondientes pueden excitar la compuerta del componente. Un circuito práctico es mostrado en la figura 1.18, donde se observa que los arreglos resistivos de la figura 1.17 son reemplazados por el mismo circuito de disparo de pulsos, y la carga correspondiente suelen ser motores de inducción o motores sincrónicos, en motores Trifásicos, estos circuitos son repetidos en cada fase. Teniendo cuidado con sincronizar los pulsos de la compuerta, así como utilizar componentes con las mismas características.

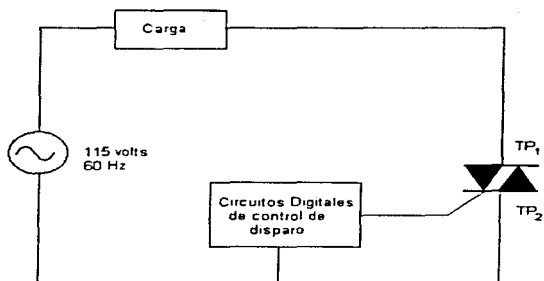


Figura 1.18 Circuito de disparo de TRIAC's empleando circuitos digitales.

## **CAPITULO II**

### **DISPOSITIVOS DE CONTROL Y PROGRAMACIÓN**

#### **2.1 DISPOSITIVOS LÓGICOS PROGRAMABLES**

##### **2.1.1 INTRODUCCIÓN**

Los sistemas lógicos basados en los transistores y compuertas digitales, poseen una gran cantidad de ventajas con respecto a los mismos relevadores, son más seguros, confiables, rápidos y baratos. Desde el punto de vista industrial, su única falla es que es difícil su modificación. Si es necesaria esta modificación, deben hacerse cambios a las conexiones mismas entre los dispositivos lógicos, o también sustituir el dispositivo mismo.

Tales cambios a los elementos físicos son indeseables por difíciles y lentos. En la actualidad se ha popularizado un enfoque fundamental distinto para la construcción de sistemas lógicos industriales. En este nuevo enfoque la toma de decisiones del sistema se lleva a cabo por instrucciones codificadas las cuales están almacenadas en un circuito de memoria y ejecutadas por un microprocesador. ahora si se requiere modificar el sistema de control basta con cambiar las instrucciones codificadas.

Tales cambios se llevan a cabo rápidamente por medio de un teclado. A este nuevo enfoque se le refiere a veces como automatización flexible, cuando se usa este enfoque flexible, la secuencia completa de instrucciones codificadas que controla el desempeño del sistema se llama programa. Estos sistemas son denominados sistemas programables.

Se definen los *"Dispositivos Lógicos Programables (PLD)"* como circuitos lógicos realizados en un único circuito integrado (*chip*), con capacidad de ser programados para diseñar cualquier tipo de sistema combinatorial y/o secuencial

Se realizan en gran escala de integración (LSI) o muy gran escala de integración (VLSI) y representan las siguientes ventajas con relación al uso de compuertas lógicas y circuitos secuenciales (controladores o registros) realizados en pequeña (SSI) o mediana (MSI) escala de integración

1. Permiten realizar sistemas digitales complejos en un único circuito integrado, en lugar de tener que utilizar interconexión con varios circuitos
2. Reducen la complejidad del circuito impreso que soporta el sistema digital
3. Como consecuencia de lo anterior, se consigue una mayor confiabilidad e inmunidad al ruido, y un menor tiempo de propagación y potencia disipada
4. Permiten, gracias a su programabilidad, cambiar o reconfigurar el diseño sin tener que modificar el cableado del circuito
5. Hacen que el controlador sea imposible de copiar, con lo cual se protege la propiedad del diseño

De lo anterior mencionado se deduce que los dispositivos lógicos programables son circuitos idóneos para resolver una aplicación específica mediante su adecuada programación, y por ello reciben el nombre de *"Circuitos Integrados de Aplicación Específica"* (Application Specific Integrated Circuits, ASIC). Por otra parte, el circuito inicial es independiente de la aplicación y en el proceso de diseño se especializa y, por ello, estos circuitos reciben el nombre de *semimedida* (semi-custom), porque se compran sin programar, y mediante su programación se adaptan a las necesidades de la aplicación

Existen diferentes dispositivos lógicos programables que se distinguen por su función lógica. Para realizar su estudio, al que se dedican sucesivos aparatos. Una posible clasificación se indica en la Tabla 2.1.

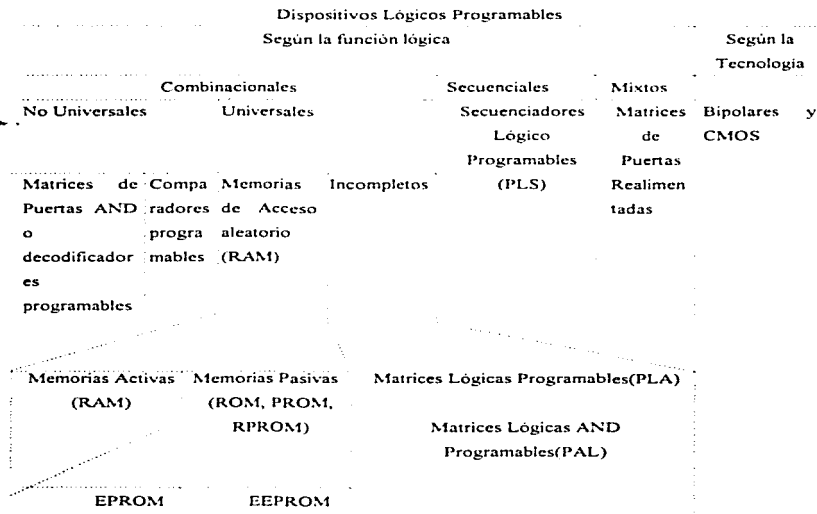


Tabla 2.1.-Clasificación de Dispositivos Lógico Programables

## **2.1.2 DISPOSITIVOS LÓGICOS PROGRAMABLES COMBINACIONALES**

Se trata de circuitos combinacionales cuya tabla de verdad se puede cambiar sin necesidad de modificar el cableado entre los elementos que lo constituyen, sino simplemente eliminando determinadas conexiones (programación)

Los dispositivos lógicos programables pueden ser universales o no universales. Los primeros son aquellos que pueden ser utilizados para realizar cualquier función lógica, mientras que los segundos son aquellos que sólo pueden realizar ciertas funciones de aplicación general. Los principales dispositivos lógicos programables no universales son los decodificadores (o matrices de compuertas AND) programables y los comparadores programables.

Los dispositivos lógicos programables combinacionales universales son los elementos básicos de los controladores lógicos síncronos.

### **2.1.2.1 Dispositivos Lógicos Programables (DLP) Combinacionales Universales**

Según sea o no posible programar el valor de las variables de salida, para cada combinación de las variables de entrada de forma independiente, se puede clasificar en completos e incompletos.

### **2.1.2.2 Dispositivos lógicos programables combinacionales universales completos**

Se definen como sistemas combinacionales completos aquellos en los que es posible programar el valor de las variables de salida, para cada una de las combinaciones de las variables de entrada de forma independiente.

Las memorias de acceso aleatorio, en sus diferentes versiones, constituyen dispositivos lógicos programables combinacionales universales completos. Una memoria de acceso aleatorio

(RAM) está constituida por un cierto número  $N$  de células, capaces de almacenar una información binaria (0 o 1), agrupadas en posiciones de  $m$  células, de manera que el número total  $p$  posiciones cumple la ecuación  $N = p \cdot m$ . La memoria posee en el caso más general  $m$  terminales de entrada, cuya información puede ser introducida en las  $m$  células de cualquier posición en una operación de escritura y  $m$  terminales de salida en las que puede aparecer la información de las  $m$  células de cualquier posición en una operación de lectura. Ambos grupos de terminales se pueden confundir en uno solo, utilizando indistintamente para introducir información en la memoria o leer la que contiene ésta. En la figura 2.1 se representa el diagrama a bloques de una memoria de acceso aleatorio (RAM)

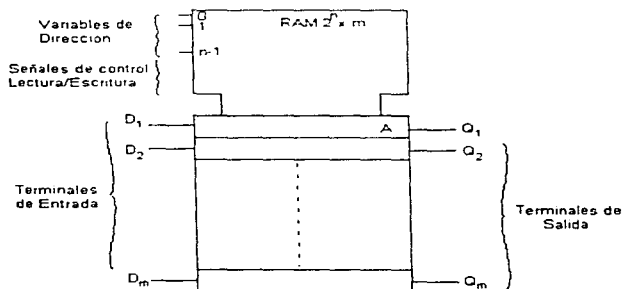


Figura 2.1.- Memoria de Acceso Aleatorio (RAM)

Para poder seleccionar cuál de las  $p$  posiciones de lee o escribe, la memoria posee  $n$  terminales de dirección tales que  $2^n = p$ . Cada una de las  $2^n$  combinaciones posibles de las  $n$  variables de dirección, selecciona una de las  $p$  posiciones de memoria.

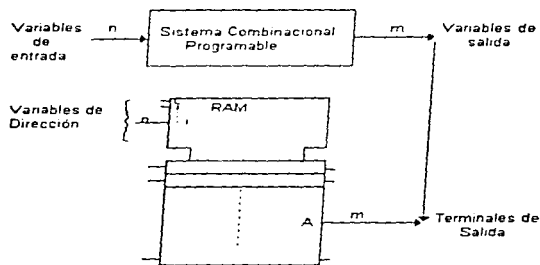
Se puede comprender que una memoria de acceso aleatorio constituye un sistema combinatorial programable. En efecto, una memoria de acceso aleatorio se comporta como un sistema combinatorial durante la operación de lectura, porque para cada combinación binaria aplicada a sus  $n$  entradas de dirección aparece una información de salida igual a la contenida en la posición seleccionada, que es independiente de la secuencia de combinaciones de las variables de entrada. Las entradas de dirección de la memoria constituyen las variables de entrada del sistema combinatorial y las salidas de información constituyen las variables de salida, tal como se indica en la figura 2.1. Pero además este sistema combinatorial es programable, porque mediante operaciones de escritura se puede modificar la información, contenida en cada posición, introduciendo en ella la información colocada en las terminales de entrada. Por lo tanto, las terminales de entrada constituyen las entradas de programación del circuito (figura 2.1). La señal de "control de escritura/lectura" permite seleccionar, mediante su nivel lógico, la operación de escritura o lectura.

Por lo tanto, una memoria de acceso aleatorio se comporta durante la operación de lectura como un sistema combinatorial, tal como se indica en forma gráfica en la figura 2.2. En la citada figura se prescinde de la señal de "control de escritura/lectura", que se supone conectada rigidamente al nivel lógico correspondiente a la operación de lectura. Las terminales de entrada se utilizan exclusivamente para realizar la programación mediante operaciones de escritura en las diferentes posiciones de la memoria.

Las memorias de acceso aleatorio se pueden clasificar, tal como se indica en la tabla 2.1, en activas y pasivas. Las activas son volátiles, es decir, pierden información al privarlas de la



tensión de alimentación. Por ello, para ser utilizadas como sistema combinacional programable, han de tener un consumo muy pequeño que permita su alimentación mediante baterías. Las más utilizadas son por ello las memorias de tecnología CMOS.



*Figura 2.2 Símbolo Lógico de un Sistema Combinacional Programable realizado con una RAM*

Las memorias pasivas no son volátiles y por ello son las más utilizadas como sistemas combinacionales programables. A su vez se clasifican en totalmente pasivas (ROM), pasivas programables (PROM) y pasivas reprogramables (RPPROM), que se diferencian especialmente por la forma en que son programadas.

Las memorias pasivas pueden poseer salida de tres estados. En la figura 2.3 se representan los dos símbolos lógicos de una memoria totalmente pasiva (ROM) de  $2^n$  posiciones de  $m$  bits con salida de tres estados.

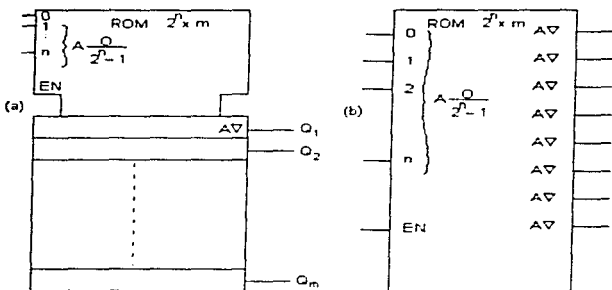


Figura 2.3 Símbolos Lógicos normalizados de una memoria totalmente pasiva (ROM) de  $2^n$  posiciones de  $m$  bits con salida de 3 estados.

### 2.1.2.3 Dispositivos Lógicos Programables Universales Incompletos

En los DLP completos, que se analizaron anteriormente, es posible programar el valor de las variables de salida para cada una de las  $2^n$  combinaciones posibles de las  $n$  variables de entrada de forma independiente. Pero en la práctica se suelen presentar las siguientes situaciones :

- 1.- Las funciones lógicas sólo toman el valor uno para un cierto número de las combinaciones de las variables de entrada, inferior al total  $2^n$

- 2 - La expresión canónica de suma de productos se puede simplificar por los métodos numérico o tabular de Karnaugh
- 3 - La función no está definida para algunas combinaciones de las variables de entrada

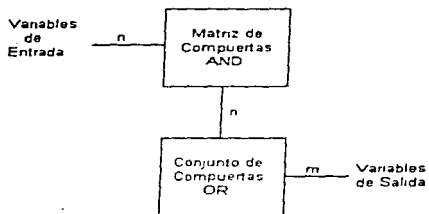
Ninguno de estos tres casos se simplifica cuando la función se realiza mediante un sistema combinacional programable completo y de ahí el interés de la utilización de los sistemas combinacionales programables incompletos, que reciben este apelativo porque en ellos no es posible programar el valor de cada variable de salida para cada combinación de las variables de entrada independiente. Su universalidad está basada en que la práctica totalidad de las funciones son simplificadas y se pueden representar mediante una expresión algebraica mínima no canónica, tal como se estudia en electrónica digital.

Están constituidas por una matriz de compuertas AND - Programable (AND) conectada a un conjunto de compuertas OR (figura 2.4) y permiten la realización directa de cualquier función lógica expresada mediante una suma de productos lógicos.

Según la forma en que se realiza la conexión de las compuertas OR con las compuertas AND, se pueden considerar dos tipos diferentes de dispositivos lógicos programables incompletos.

#### **2.1.2.3.1 Matrices lógicas programables [Programmable Logic Array (PLA)]**

Una matriz lógica programable está constituida por una matriz programable de compuertas AND que posee  $n$  compuertas (siendo  $n < 2^n$ ) y una matriz de  $m$  compuertas OR también programable. Las compuertas AND poseen  $n$  entradas, que se unen a cada variable de entrada y a su inversa a través de una conexión que puede ser eliminada (figura 2.5).



*Figura 2.4 Diagrama de bloques de un dispositivo lógico combinacional universal incompleto*

La programación de la matriz lógica programable consiste en suprimir las conexiones adecuadas de la matriz de compuertas AND, para que la salida de cada una de ellas represente un determinado producto lógico, y las conexiones de la matriz de compuertas OR necesarias, para que cada salida sea la suma de las salidas de las compuertas AND convenientes.

Para simplificar el esquema de un sistema digital que posea una matriz lógica programable como las representadas en la figura 2.5, se puede utilizar un diagrama de bloques aún más sencillo, en el que se utiliza un único símbolo lógico al que se asignan las PLA junto con el número  $n'$  de compuertas AND que forman parte de la matriz.

Las matrices lógicas programables son los DLP incompletos más flexibles, porque en ellos es posible programar la conexión de cada producto a todas y cada una de las compuertas OR de salida.

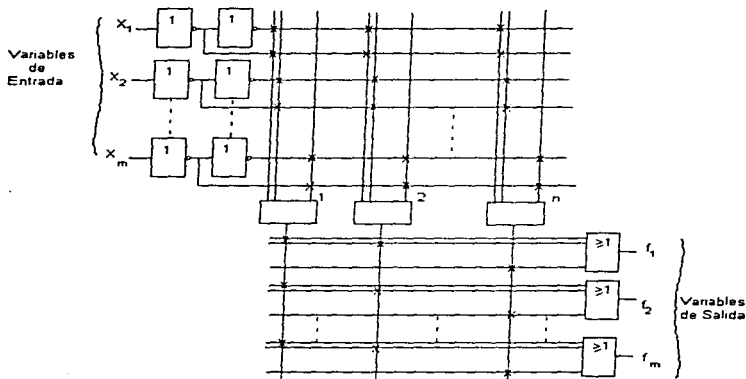


Figura 2.5 Esquema de una Matriz Lógica Programable.

### 2.1.2.3.2 Matrices Lógicas AND-Programables [Programmable Array Logic (PAL)]

Su diagrama de bloques también corresponde a la figura 2.4, y se diferencia de las matrices lógicas programables (PLA) en que las entradas de las compuertas OR están conectadas rigidamente a un determinado número de compuertas AND. En general, si la PAL posee  $n$  productos y  $m$  salidas, cada compuerta OR se conecta a  $n \cdot m$  productos diferentes. En la figura 14 se representa como ejemplo una PAL de 12 productos lógicos y tres compuertas OR, conectadas a cuatro productos cada una

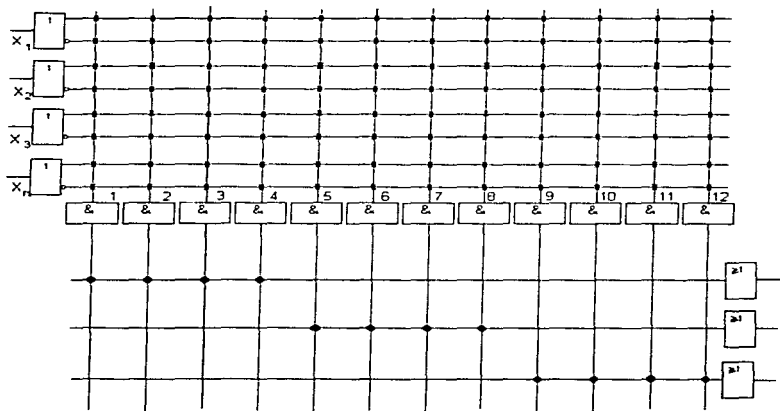


Figura 2.6 Matriz Lógica AND Programable (PAL) de 12 Productos lógicos y tres variables de salida.

Las PAL son menos flexibles que las PLA porque si un producto lógico ha de formar parte de dos salidas, ha de ser programado dos veces, pero en compensación poseen un menor tiempo de propagación, menor disipación y, lo que es más importante, ocupan una menor superficie de silicio, y su programación es evidentemente sencilla.

En la mayoría de los casos, con una PAL de un determinado número de entradas, productos y salidas, se pueden realizar las mismas funciones que con una PLA de similar complejidad.

Por todo ello, las PAL están adquiriendo un papel importante en el diseño de sistemas digitales con circuitos integrados.

### **2.1.3 DISPOSITIVOS LÓGICOS PROGRAMABLES SECUENCIALES**

Con los controladores lógicos síncronos es posible realizar cualquier sistema digital combinacional o secuencial. De esta característica surge el interés de realizar un circuito integrado semimedida bajo la denominación de dispositivos lógicos programables secuenciales (DLP secuenciales).

Estos circuitos reciben por parte de algunos fabricantes el nombre de Secuenciadores Lógicos Programables (Programmable Logic Sequencers) y su esquema básico se representa en la figura 2.7. En ella se observa que están formados por los siguientes elementos :

- 1.- Una matriz programable de compuertas AND

- 2.- Una matriz de compuertas OR, que puede ser o no ser programable (por ello no se indican las conexiones entre las salidas de las compuertas AND y las entradas de las compuertas OR)
- 3.- Un conjunto de flip-flops tipo D sincronos con una entrada de sincronización única común a todos ellos (en la figura 2.7 se supone activa con flancos de subida) y cuyas entradas de información están conectadas a las salidas de las compuertas OR
- 4.- Un conjunto de compuertas amplificadoras seguidores e Inversores, cuyas entradas se conectan a las salidas de los biestables y cuyas salidas forman parte de la matriz de compuertas AND

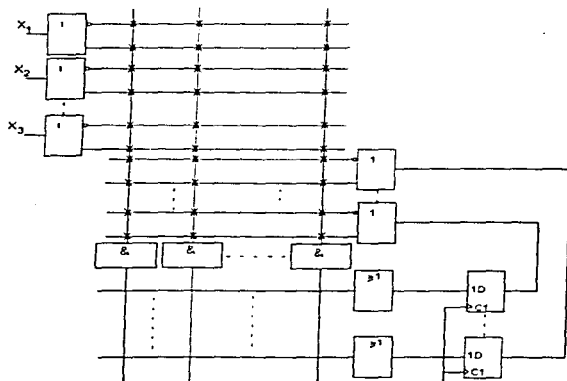


Figura 2.7 Esquema básico de un dispositivo programable secuencial.



El circuito de la figura 2.7 se puede representar mediante los bloques funcionales de la figura 2.8.

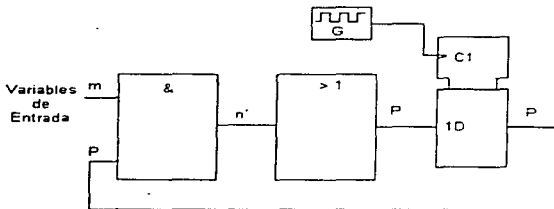


Figura 2.8 Dispositivo lógico programable secuencial (Bloques Funcionales).

Mediante este circuito es posible realizar cualquier sistema secuencial síncrono y, por lo tanto se combina con un registro de sincronización de las variables de entrada, esto es constituye un controlador lógico síncrono programable no modular.

El esquema de la figura 2.8 admite diversas variantes que aumentan su flexibilidad, entre las que cabe citar :

1.- Terminales programables como entradas o como salidas

se diferencia en que entre cada terminal externa y la salida de cada biestable del registro se coloca una compuerta seguidora de tres estados cuya entrada de desinhibición (EN) se conecta al exterior o posee un elemento que permite programar su nivel lógico.

La salida de la puerta de tres estados se realimenta también a la entrada de la matriz de compuertas AND. Si la entrada EN se programa en nivel uno mediante la destrucción de la conexión programable ;el terminal es de salida y en caso contrario es de entrada. En el segundo caso el biestable queda permanentemente inutilizado, lo cual no es un inconveniente en la práctica gracias al aumento de la capacidad de integración.

2.- Puesta a cero y a uno asíncronas

Todos los biestables de salida poseen entradas de puesta a cero (R) y puesta a uno (S) asíncronas que, en general, son comunes a todos ellos, y están disponibles al exterior o conectadas a la matriz AND o al a matriz OR, para poder poner todos los biestables a uno o a cero inicialmente.

3.- Control de inversión de la salida

El esquema resultante menciona que en cada salida se conecta al exterior a través de una puerta OR - exclusiva de dos entradas, una de las cuales es programable mediante el elemento adecuado. Según dicha entrada esté en el nivel cero o uno, en la salida aparece el estado el biestable en forma directa o inversa.

4- Posibilidad de realizar la realimentación de forma asíncrona o sincrónica

Aunque, en general, estos circuitos se utilizan para realizar controladores lógicos síncronos, es útil dotarlos de la posibilidad de realizar controladores lógicos asíncronos.

La entrada y la salida de cada biestable se conecta a una entrada de un multiplexor de dos canales. La variable de selección es común a todos los multiplexores y, según esté en uno o en

cero, aparece en la salida del biestable. En el primer caso se tiene un controlador lógico asincrónico, y en el segundo uno síncrono.

Los DLP complejos suelen incluir todas o gran parte de las posibilidades descritas, de tal forma que en la salida del conjunto de compuertas OR aparece un conjunto de elementos por cada bit que suele recibir el nombre de macrocelda.

En la figura 2.9 se representa el esquema de una macrocelda que posee todas las opciones anteriormente descritas. Se logran de esta forma circuitos complejos que han sido realizados por diversos fabricantes.

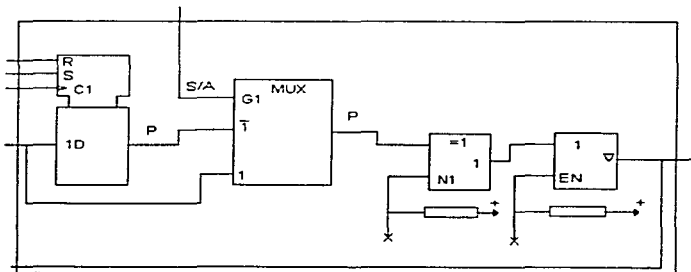


Figura 2.9 Macrocelda de control de entradas y salidas

**2.1.4 DISPOSITIVOS LÓGICOS PROGRAMABLES MIXTOS**

Las matrices lógicas programables realizadas con compuertas AND y OR permiten realizar cualquier sistema combinacional, realimentando las salidas a las entradas, directamente o a través de un registro sincrónico, se convierten en dispositivos lógicos programables secuenciales

A continuación se van a analizar las matrices programables de compuertas universales que permiten realizar sistemas digitales tanto combinacionales como secuenciales mediante realimentaciones internas

Por ello a estos circuitos se les denomina dispositivos lógicos programables mixtos. Estos se caracterizan por la existencia de una sola matriz cuyas filas están constituidas por las variables de entrada (directas e invertidas) y las salidas de las compuertas NAND que se realimentan a las entradas

Mediante la supresión de las conexiones adecuadas se puede obtener cualquier función lógica. Para ello la matriz ha de tener como mínimo cuatro compuertas NAND. De igual forma es posible realizar cualquier sistema secuencial como, por ejemplo, un biestable D activado por flancos de subida

Por otra parte, es conveniente que las variables de salida admitan la máxima cargabilidad. Por ello el esquema real de la matriz lógica programable realizada con compuertas NAND realimentadas

Al igual que los DLP formados por compuertas AND y compuertas OR, los formados por compuertas NAND admiten muchas variantes entre las que cabe mencionar

- 1.- La inclusión de biestables sincronos en todos o una parte de las salidas de las compuertas NAND realimentadas, para simplificar el diseño de sistemas secuenciales sincronos. Existen múltiples opciones que se diferencian por el tipo de biestable utilizando, la programabilidad de las entradas de puesta a cero asincronas, la programabilidad del generador de impulsos, etc
  
- 2.- La colocación de compuertas de tres estados a la salida de las compuertas NAND cuya salida se conecta al exterior

## **2.2 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN**

### **2.2.1 Historia**

Creados en Estados Unidos para reemplazar los armarios de relevadores, los autómatas programables utilizaban al comienzo una programación a partir de los esquemas de contactos concebidos para una realización eléctrica cableada

A medida que se desarrollaron, los autómatas programables se convirtieron en accesibles a todos los participantes. Electricistas, Mecánicos, especialistas en procedimientos, etc La utilización de lenguajes parecidos de funcionamiento de la máquina tal como el GRAFCET se impone por lo tanto, así como su programación directa. Las nuevas gamas de autómatas programables franceses, alemanes y americanos, que permiten progresivamente esta programación directa, participan así en la difusión de una práctica más racional de los automatismos.

La programación de un autómata consiste en el establecimiento de una sucesión ordenada de instrucciones disponibles en el equipo que resuelven una determinada tarea de control. La secuencia, que establece la relación entre las distintas variables lógicas, es lo que constituye el programa de del automata. Entre los fabricantes de autómatas utilizan diversos lenguajes de programación entre los que cabe citar:

- 1 - Lista de Instrucciones
- 2 - Esquema de contactos
- 3 - Diagrama de funciones
- 4 - GRAFCET

Todos estos lenguajes facilitan la labor de programación al usuario. La elección de uno u otro depende de la experiencia y conocimientos de aquel y de la forma en que se especifica el problema de control a resolver. No existe una descripción única para cada lenguaje, sino que cada fabricante utiliza una denominación particular para las diferentes instrucciones y una configuración también particular para representar las distintas variables de entrada y salida.

### **2.2.2 Lenguaje de Lista de Instrucciones.**

Consistente en un conjunto de códigos simbólicos, cada uno de los cuales corresponde a una instrucción de lenguaje de código de máquina. Como cada fabricante tiene su propio lenguaje, también lo son el lenguaje de lista de instrucciones, por ser la programación mediante códigos simbólicos la que más se aproxima al lenguaje de máquina, especialmente indicada para usuarios familiarizados con la electrónica digital y con la informática. Por otra parte, este lenguaje es el único utilizable con las unidades de programación sencillas que solamente visualizan una o varias líneas de programación simultáneamente.

**2.2.2.1 Identificación De Variables.**

Las funciones de las variables se realizan como se indica :

**a) - Variables de Entrada**

$Xn$  : El término  $X$  representa una variable binaria de entrada y lleva asociado un número  $n$  que corresponde a su situación en el conector de salida

**b) - Variables de salida externas**

$Yn$  : El término  $Y$  representa una variable binaria de salida y lleva asociado un número  $n$  que corresponde a su situación en el conector de salida

**c) - Variables de salida internas**

$IRn$  : El término  $IR$  representa una variable binaria interna (elemento de memoria) y  $n$  es el número de orden asociado

**2.2.2.2 Instrucciones**

Las instrucciones se pueden subdividir en los siguientes tres términos :

- 1 - Instrucciones de selección de entrada y salida de operación
- 2 - Instrucciones de Temporización y de conteo
- 3 - Instrucciones de Control

**2.2.2.2.1.- Instrucciones de selección de entrada y salida de operación.**

Este tipo de instrucciones realizan alguna de las acciones siguientes :

- a) - Seleccionan una determinada variable para utilizarla como operando o como objeto de una acción de lectura de entrada, o activación/desactivación de una salida

- b).- Realizan una acción de entrada o de salida
- c).- Realizan una cierta operación con una variable.

Dentro de este grupo el PLC puede tener las siguientes instrucciones

- 1.- STR - Se utiliza para seleccionar la primera variable que se va a utilizar en una secuencia de instrucciones
- 2.- STR NOT - Se utiliza para seleccionar la primera variable invertida que se va a utilizar en una secuencia de instrucciones
- 3.- OUT NOT.- Actúa sobre la variable de salida (externa o interna) invertida, asociada a ella
- 4.- OR.- Realiza la función lógica OR entre una variable o combinación de variables y la variable específica en ella.
- 5.- OR NOT.- Realiza la función lógica OR entre una variable o combinación de variables y la variable especificada en ella invertida
- 6.- AND - realiza la función lógica AND entre variable o combinación de variables y la variable específica en ella
- 7.- AND NOT.- Realiza la función lógica AND entre una variable o combinación de variables y la variable especificada en ella invertida



**8.- OR STR.-** Realiza la función lógica OR entre las dos secuencias anteriores a ella iniciadas por STR o STR NOT

**9 - AND STR -** Realiza la función AND lógica entre la dos secuencias anteriores a ella iniciadas por STR o STR NOT

**2.2.2.2.2.- Instrucciones de Temporización y de conteo.**

Como su nombre lo indica, generan variables cuya activación, duración o desactivación es una función del tiempo o del número de impulsos aplicados a una variable de entrada. Para que el PLC posea estas instrucciones es necesario que se incluya en su sistema físico (Hardware) temporizadores y contadores. Se hace suponer que el PLC posee las siguientes instrucciones

**TMR:** Realiza la función de Temporización. Utiliza para ello dos variables

$X_i$  = variable de puesta a cero

$X_j$  = variable temporizada

La salida del temporizador se realiza a través de una variable de salida externa o interna.

La programación del temporizador necesita cuatro instrucciones en secuencia

- 1.- Una instrucción de selección de la variable de puesta a cero  $X_i$
- 2.- Una instrucción de selección de la variable temporizada  $X_j$
- 3.- La instrucción TMR  $n$  que elige el temporizador ( $n$ ) TMR inicia la Temporización si  $X_i$  esta en uno (no hay puesta a cero) y  $X_j$  pasa a uno (se activa la variable cuyo cambio se temporiza)

- 4 - Una posición de memoria de programa que almacena el valor del tiempo preseleccionado

Un ejemplo de generación de una variable temporizada T0 es el constituido por las instrucciones siguientes

```
STR X1
STR X0
TMR 0
    10
OUT Y0
```

La instrucción TMR puede ser utilizada para generar un retardo a la activación de una variable. Para ello se utiliza la misma variable como variable de puesta a cero y temporizada. Igualmente TMR puede ser utilizada para generar un retardo a la desactivación de una variable si se la selecciona invertida como puesta a cero y como variable temporizada

**CTR.** Realiza la función de contaje. Para ello se pueden utilizar dos o tres variables. En el primer caso funciona como contador ascendente en el que la primera variable es la de puesta a cero y la segunda es la de contaje. En el segundo caso funciona como contador reversible, y, en él, la primera y tercera variables actúan igual que en el caso anterior y la segunda selecciona el modo de contaje ascendente o descendente, según se encuentre en nivel cero o uno respectivamente.

Por lo tanto, la programación de un contador necesita cuatro o cinco instrucciones en secuencia respectivamente que actúan de forma parecida a la instrucción TMR estudiada anteriormente.

Una secuencia de instrucciones que realiza un contaje ascendente es la siguiente:

```
STR X 1
STR XO
CTR 3
  10
OUT Y2
```

La variable Y2 pasa a nivel uno cuando se aplican diez impulsos en la entrada X0 y al mismo tiempo se mantiene X1 en un nivel 1 , y vuelve a cero cuando lo hace X1. Una secuencia de instrucciones que realiza un contaje reversible es la siguiente :

```
STR X2
STR X1
STRX0
CTR 4
  10
OUT Y3
```

#### **2.2.2.2.3 Instrucciones De Control**

Influyen en la ejecución de las demás instrucciones, mediante tomas de decisión. Aunque no son imprescindibles en un autómata, tal como se vio en los autómatas elementales. Su existencia facilita la programación.

Admiten múltiples variantes alternativas, de las que el diseñador del autómata elige las que le parecen mas interesantes.

Se supone que el autómata que se está estudiando posee las siguientes instrucciones de control asociadas entre sí:

**JMP JME:** Hacen que las instrucciones del programa situadas entre ellas se ejecuten o no en función del resultado de la operación lógica inmediatamente anterior a JMP. Si el resultado de dicha operación lógica es 1, las citadas instrucciones se ejecutan normalmente y, por lo tanto, se actualizan las salidas (externas o internas) seleccionadas entre las instrucciones JMP y JME. Si el resultado de la operación lógica es 0, la porción de programa comprendido entre JMP y JME no se ejecuta y, por lo tanto, no se modifica el estado de ninguna de las salidas (externas o internas) seleccionadas entre JMP y JME.

Como ejemplo, se va a analizar la siguiente secuencia de instrucciones:

```
STR X0  
OUT Y0  
JMP  
STR Y0  
AND X0  
OUT Y1  
STR X1  
OUT IR2  
JME
```

En primer lugar se selecciona la variable de entrada X0 (STR X0) y se hace Y0 = X0 (OUT Y0). A continuación se ejecuta JMP, y según el valor de la variable Y0, seleccionada en la

instrucción anterior, sea un cero o uno el autómata decide ejecutar o no las acciones correspondientes a instrucciones situadas entre JMP y JME.

Una forma de lograr esto es mediante la inclusión de un biestable de inhibición en la unidad operativa que provoca la realización de una operación nula por parte de esta. Dicho biestable es puesto a uno por la instrucción JMP si el resultado de la operación que la precede es un cero y no modifica su estado si es un uno. La instrucción JME pone a cero el citado biestable. El lector puede comprobar que las instrucciones JMP y JME se comportan igual que las INHCON y DESINH del autómata programable elemental.

**IL - ILC:** Este par de instrucciones hacen que todas las salidas (externas o internas) seleccionadas entre ellas se actualicen normalmente o sean puestas a cero, dependiendo de que el resultado de la operación lógica inmediatamente anterior a IL sea uno o cero respectivamente.

### **2.2.3 ESQUEMA DE CONTACTOS.**

En este lenguaje, la tarea que debe realizar el autómata se representa gráficamente mediante un esquema de contactos. Este lenguaje de programación está especialmente indicado para:

- 1.- Facilitar el cambio de un sistema de control de una instalación realizada con relees por un autómata programable.
- 2.- Hacer más fácil el diseño de sistemas de control con autómatas programables a los técnicos que están habituados a diseñar sistemas de control con relees.

Para programar en este lenguaje se necesita una unidad de programación que posea una terminal con una pantalla semigráfica que permita visualizar el esquema de contactos.

### 2.2.3.1 Identificación de Variables

Las variables binarias se representan mediante contactos, a cada uno de los cuales se asigna una identificación igual a la de la lista de instrucciones estudiada en el apartado anterior. El símbolo utilizado puede responder a diferentes normas tal como se indica en la figura 2.10.

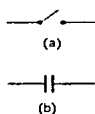


Figura 2.10.- Variable de entrada, salida externa o salida interna en un esquema de contactos normalizado. a) Norma DIN, b) Norma Nema.

Por ejemplo, la variable de entrada se representa tal como se indica en la figura 2.11(a) en la norma DIN 40713-16 y tal como se indica en la figura 2.11(b) en la norma NEMA.

Los contactos de las figuras 2.10 y 2.11 son normalmente abiertos y representan variables directas. Las variables inversas se representan mediante contactos normalmente cerrados, tal como se indica en la figura 2.12 para la variable de salida interna o de estado interno  $\overline{IR2}$ .

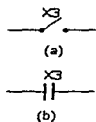


Figura 2.11 Variable de entrada  $X3$

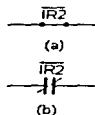


Figura 2.12 variable de estado interno  $IR2$ .

La función de salida externa o interna (IR) o de salida externa AND, se representa en ambas normas mediante el símbolo de la figura 2.13

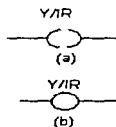


Figura 2.13 Símbolo de función de salida interna o externa

### 2.2.3.2 Secuencias Lógicas

Las distintas funciones lógicas se pueden representar en este lenguaje. La figura 2.14 muestra las distintas funciones. En (a) se tiene la función de selección normalmente abierto (STR X0) en función de contactos y lista de selecciones. En (b) la función de selección de contacto normalmente cerrado (STR NOT) en esquema de contactos y lista de instrucciones. En (c) la función lógica OR, también en esquema de contactos y lista de instrucciones.

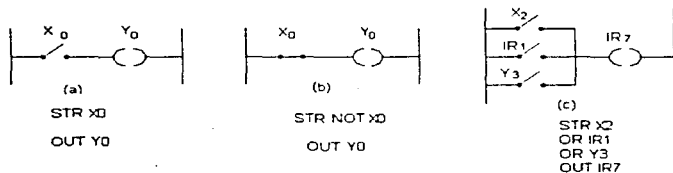


Figura 2.14.-Tres diferentes funciones lógicas.

### 2.2.4 DIAGRAMA DE FUNCIONES.

Constituye el lenguaje simbólico en el que las distintas combinaciones entre variables se representan mediante símbolos lógicos normalizados. Este lenguaje de programación está especialmente indicado para los usuarios familiarizados con la electrónica digital y al igual que el esquema de contactos necesita una unidad de programación dotada de pantalla para visualización del diagrama. Este lenguaje simbólico emplea la misma nomenclatura utilizada en los puntos anteriores.



### 2.2.5 GRAFCET

El GRAFCET fue desarrollado por una comisión para normalización de la especificación de los automatismos lógicos, creada por la Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica (AFCET). Se basa en los conceptos de etapa y receptividad, que se han utilizado para la especificación de los automatismos lógicos mediante niveles, los conceptos de estado y capacidad de transición utilizados en la caracterización por los flancos. La figura 2.15 describe los símbolos normalizados y su combinación para representar el diagrama de flujo de un automatismo lógico.

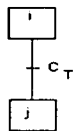


*Figura 2.15 Representaciones gráficas del GRAFCET*

En la figura 2.15(a) el estado interno es representado por un círculo, se convierte en cuadrado con un número correspondiente al estado, en caso de que se trate de un estado inicial se representa mediante un doble cuadrado [figura 2.15(b)], al que se suele asignar el dígito 0.

Las transiciones entre estados se representan mediante el enlace de los mismos por un segmento atravesado por una barra a cuyo lado se indica la expresión de la capacidad de transición  $C_T$ , que debe valer uno para que se produzca el paso de un estado a otro. Véase la figura 2.16.

Normalmente los estados se colocan verticalmente y cuando la transición se realiza de arriba abajo no se coloca ninguna flecha. Por el contrario, si se coloca en el caso de que la transición se realice de abajo hacia arriba.



*Figura 2.16.- Transición entre estados internos.*

## CAPITULO III

### PLC's

### (CONTROLADORES LOGICO PROGRAMABLES)

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

Se entiende por Controlador Lógico Programable (PLC) o Automata Programable, a toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas Series, paralelos, temporizadores, contajes y otras más que intervienen en el control industrial

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del Hardware y el Software amplía continuamente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario realizar procesos de maniobra, control señalización, etc., por lo tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industrial de cualquier tipo de transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los

mismos, etc. Hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como :

1. Espacio reducido
2. Procesos de producción periódicamente cambiantes
3. Procesos secuenciales
4. Maquinaria de procesos variables
5. Instalaciones de procesos complejos y amplios
6. Verificación de programación centralizada de las partes del proceso

A continuación se enumeran ejemplos de aplicación general :

1.-De maniobras de máquinas :

- Maquinaria industrial del mueble y madera
- Maquinaria en procesos de grava, arena y cemento
- Maquinaria en la industria del plástico
- Máquinas - herramienta complejas
- Maquinaria en procesos textiles y de confección.
- Maquinaria de ensamblaje
- Máquinas de transferencia

2.- Maniobra de instalaciones

- Instalaciones de aire acondicionado, confección, etc.
- Instalaciones de seguridad
- Instalaciones de frío industrial
- Instalaciones de almacenamiento y trasvase de cereales.

- Instalaciones en plantas embotelladoras.
- Instalaciones en la industria de automotriz
- Instalaciones de tratamientos térmicos.
- Instalaciones de plantas depuradoras de residuos
- Instalaciones de cerámica

### 3.- Señalizaciones y control

- Verificación de programas
- Señalización del estado de procesos

A continuación, se analizarán las ventajas e inconvenientes del PLC :

Las condiciones favorables que presenta un PLC son las siguientes .

1. Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que
  - a) No es necesario dibujar el esquema de contactos
  - b) No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande
  - c) La lista de materiales queda sensiblemente reducida y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc
2. Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado, ni agregar aparatos
3. Mínimo espacio de ocupación
4. Menor costo de mano de obra de la instalación
5. Economía en el mantenimiento, además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos Automatas Programables, puedes detectar e indicar averías.
6. Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo PLC

7. Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo de cableado
8. Si por alguna razón alguna de las máquinas queda fuera de servicio, el PLC sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción

Entre los inconvenientes del PLC, se encuentra en primer lugar la falta de un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos

Pero existe otro factor importante, como es el costo inicial, el cual puede ser o no ser un inconveniente, dependiendo de las características del automatismo en cuestión. Dado que el PLC cubre ventajosamente un amplio espacio entre la lógica cableada y el microprocesador, es preciso que el proyectista lo conozca tanto en amplitud como en sus limitaciones. Por lo tanto, aunque el costo inicial debe ser tomado en cuenta para decidir entre uno y otro sistema, es conveniente analizar todos los demás factores para tomar una decisión acertada

Después de las utilidades descritas anteriormente, es importante conocer los diferentes útiles de realización y distinguir entre la dos grandes familias las cuales son :

- 1 - Tecnología Cableada
- 2 - Tecnología programada.

Con la tecnología cableada , el automatismo se realiza por los módulos conectados entre si. El funcionamiento obtenido resulta de la elección de estos módulos y del cableado que los conecta. En todos los casos , el automatismo es enteramente personalizado por su realización material. Por el contrario , con una tecnología programada, el automatismo se realiza por la programación de constituyentes previstos para ese efecto. El funcionamiento obtenido resulta de la programación efectuada

El automatismo se personaliza por las opciones materiales, pero también por la programación. La figura 3.1 compara en sus principios las realizaciones en cableado y en programado. Los esquemas de contactos provenientes de la tecnología cableada de contacto y transpuestos en diagramas de escalera para su representación en la terminal de programación

Tres tecnologías permiten realizar los automatismos cableados :

1.- Relevadores electromagnéticos. Compuesto de contactos accionados por una bobina de efecto electromagnético, el relevador es el modulo de base a cablear. El paso de la corriente se garantiza por conductores atornillados, soldados o engastados en los bornes de los relevadores. Los relevadores se pueden controlar entre si dentro de un esquema que integra los contactos de las terminales y las bobinas de los preaccionadores

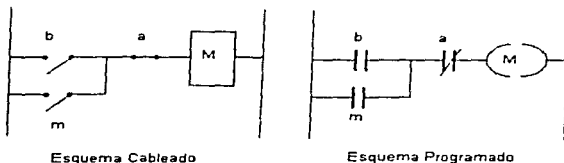


Figura 3.1 Esquemas comparativos entre dos tecnologías.

2.- Módulos lógicos neumáticos El fluido utilizado es el aire comprimido, actúa sobre las membranas que accionan las mariposas de conmutación Los módulos son lógicos ( AND, OR, NOR, Memoria) El lenguaje GRAFCET se realiza por un secuenciador que asocia los módulos en línea.

3.- Tarjetas o módulos electrónicos Los módulos de base se realizan a partir de componentes electrónicos ( diodos, transistores, circuitos integrados, etc ) instalados en circuitos impresos o tarjetas Las uniones entre tarjetas se realizan por cableado

Con la Tecnología Programada solamente las tecnologías electrónicas de alta integración permiten la concentración de los componentes y la obtención de tiempos de respuestas necesarios para la realización de los constituyentes programables Estos constituyentes pueden tomar formas diferentes

- 1 - Tarjetas electrónicas estandares y específicas
- 2 - Micro y miniordenadores
- 3 - Automatas Programables

Los lenguajes de programación son más o menos accesibles, según el tipo de los constituyentes seleccionados

### **3.1.1 ESTRUCTURA EXTERNA**

La estructura externa o configuración externa de un Automata Programable (PLC) se refiere al aspecto físico, bloques o elementos en que está dividido Desde su nacimiento hasta



2.- Módulos lógicos neumáticos El fluido utilizado es el aire comprimido, actúa sobre las membranas que accionan las mariposas de conmutación. Los módulos son lógicos ( AND, OR, NOR, Memoria). El lenguaje GRAFCET se realiza por un secuenciador que asocia los módulos en línea.

3.- Tarjetas o módulos electrónicos. Los módulos de base se realizan a partir de componentes electrónicos ( diodos, transistores, circuitos integrados, etc.) instalados en circuitos impresos o tarjetas. Las uniones entre tarjetas se realizan por cableado.

Con la Tecnología Programada solamente las tecnologías electrónicas de alta integración permiten la concentración de los componentes y la obtención de tiempos de respuestas necesarios para la realización de los constituyentes programables. Estos constituyentes pueden tomar formas diferentes :

- 1.- Tarjetas electrónicas estándares y específicas.
- 2.- Micro y miniordenadores.
- 3.- Automatas Programables.

Los lenguajes de programación son mas o menos accesibles, según el tipo de los constituyentes seleccionados.

### **3.1.1 ESTRUCTURA EXTERNA**

La estructura externa o configuración externa de un Automata Programable (PLC) se refiere al aspecto físico, bloques o elementos en que esta dividido. Desde su nacimiento hasta

nuestros días han sido varias las estructuras y configuraciones que han salido al mercado condicionadas no sólo por el fabricante, sino por la tendencia existente en el área a la que pertenece : Americana o Europea Actualmente son dos las estructuras más significativas que existen en el mercado

a) - Estructura compacta

Este tipo de PLC, se distingue por presentar en un sólo bloque todos sus elementos, es decir, fuente de alimentación , CPU, memorias, entrada y salida, etc En cuanto a su unidad de programación, existen tres versiones : unidad fija o de conexión directamente en el PLC, de conexión directa mediante cable y conector o bien la posibilidad de ambas conexiones Si la unidad de programación es sustituida por una PC, se encuentra en la posibilidad de que la conexión del mismo será mediante cable y conector El montaje del PLC al armario que ha de contenerlo se realiza por cualquiera de los sistemas conocidos : carril DIN, placa perforada, etc

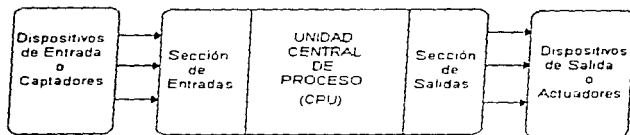
b) - Estructura modular

La estructura de este tipo de PLC se divide en módulos o partes del mismo que realiza funciones específicas Aquí, se divide en dos áreas dominantes la Americana y la Europea

- Estructura Americana Se caracteriza por separar las E/S del resto del PLC, de tal forma que en un bloque compacto están reunidas las CPU's, memoria de usuario o de programa y fuente de alimentación, y de forma separada las unidades de E/S en los bloques o tarjetas necesarias
- Estructura Europea Su característica principal es la de que existe un módulo para cada función : fuente de poder, CPU, E/S, etc La unidad de programación se une mediante cable y conector La sujeción de los mismos se hace sobre carril DIN o placa perforada, también sobre RACK , en donde va alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen.

### 3.1.2 ARQUITECTURA INTERNA.

Los PLC se componen esencialmente de tres bloques, la sección entrada salida, el procesador, el dispositivo de programación o terminal, tal como se muestra en la figura 3.2.



*Figura 3.2 Arquitectura básica de un PLC.*

Dentro del bloque de análisis anterior, se deben especificar los siguientes elementos :

- a).- La Sección de Entradas. Mediante una interface, adapta y codifica de forma comprensible por el CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o captadores, es decir, pulsadores finales de carrera, sensores, etc ; también tiene una misión de protección de los circuitos electrónicos internos del PLC, realizando una separación eléctrica así como el acoplamiento respectivo entre éstos y los captadores
- b).- La Unidad Central de Proceso. (CPU). Es la unidad de inteligencia del sistema, ya que mediante la interpretación de las instrucciones del programa de usuario y en función de los valores de las entradas, activa las salidas deseadas

- c) - La Sección de Salidas Mediante la interface trabaja de forma inversa a la de entrada, es decir, decodifica las señales procedentes de la CPU, las amplifica y manda con ellas los dispositivos de salida o actuadores, como lamparas, relevadores, contactores, arrancadores, electrovalvulas, etc , existen tambien unas interfaces de adaptación a las salidas y de protección de circuitos internos

Con las partes descritas, se puede decir que se tiene un PLC, pero para que sea operativo son necesarios otros elementos tales como

- La unidad de alimentación
- La unidad o consola de programación
- Los dispositivos periféricos
- Interfaces

En la figura 3.3, se han incluido de manera explícita todos estos elementos

d).- La Unidad de Alimentación Adapta la tensión de red de 127 V y 60 Hz (en América) o de 220 V y 50 HZ (en Europa) , a la de funcionamiento de los circuitos electrónicos internos del PLC, así como a los dispositivos de entrada

e).- La Unidad de Programación La CPU elabora las salidas en función de los estados de las entradas y de las salidas en función del estado de las entradas y de las microinstrucciones del programa de usuario Mediante la unidad de programación el usuario accede al interior del la CPU para cargar en memoria su programa En los PLC más sencillos es un teclado con "Display" similar a una calculadora y cuando se quiere cargar un programa en el CPU se acopla a ésta mediante un cable y un conector, o bien mediante un conector directo a la CPU

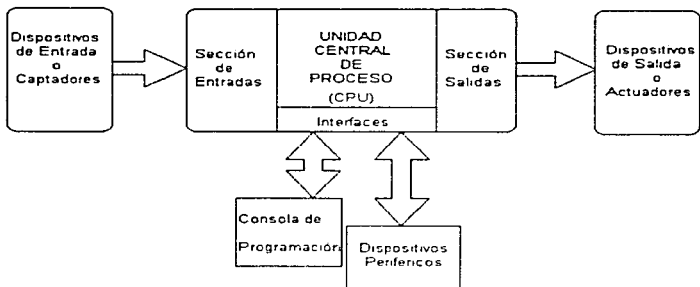


Figura 3.3 PLC con sus periféricos .

f) - Periféricos o Equipo Periférico Son aquellos elementos auxiliares, físicamente independientes del PLC, que se unen al mismo para realizar su función específica y que amplían su campo de aplicación o facilitan su uso. Como periféricos no intervienen directamente ni en la elaboración ni en la ejecución del programa.

g) - Interfaces Son aquellos circuitos o dispositivos electrónicos que permiten la conexión a la CPU de los elementos periféricos descritos.

La figura 3.4 Muestra a manera de bloques la arquitectura interna completa de un PLC, la mayoría de los PLC's son construidos bajo este tipo de sistema, aunque algunos fabricantes tienen algunas variantes respecto a la aplicación.

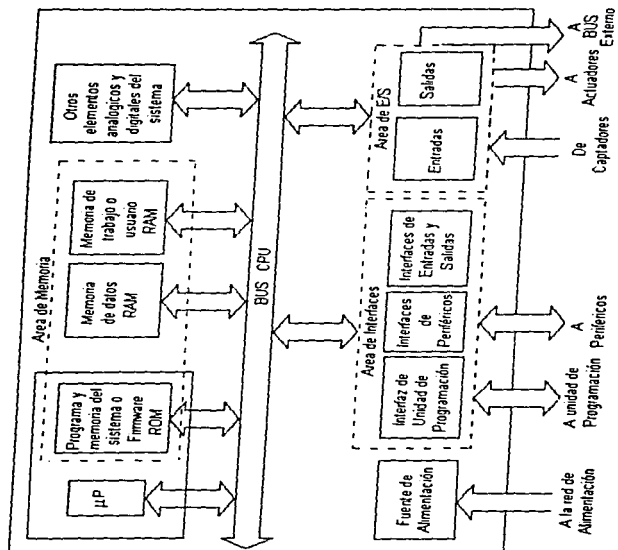


Figura 3.4 Arquitectura interna de un PLC.

## 3.2 SECCIÓN DE ENTRADA SALIDA

La sección de entrada salida (E/S) de un Controlador Lógico Programable se encarga del trabajo de intercomunicación entre los dispositivos industriales y los circuitos electrónicos de baja potencia que almacenan y ejecutan el programa de control. El programa de control es denominado programa de usuario. La sección de E/S (entrada salida) contiene módulos de entrada y salida.

### 3.2.1 Módulos de Entradas.

Considérese que cada módulo de entrada es una tarjeta de circuito impreso que contiene dieciséis convertidores de señal. Mencionados anteriormente en el capítulo I. Cada uno de las 16 terminales del módulo recibe una señal de alta potencia (por lo general, 120 V de CA) de un dispositivo de entrada y la convierte en una señal digital de baja potencia compatible con los circuitos electrónicos del procesador. Todos los módulos de entrada de los PLC modernos usan convertidores ópticos de señal para llevar a cabo el acoplamiento eléctricamente aislado entre los circuitos de entrada y los elementos electrónicos del procesador.

Cada dispositivo de conmutación de entrada está conectado a una terminal particular de entrada de la regleta de conexiones de un módulo, como se ilustra en la figura 3.5. Por lo tanto, si el interruptor superior está cerrado, aparecen 120 V de CA en la terminal de entrada 00 de ese bastidor. El convertidor de señal 00, contenido en el módulo, convierte ese voltaje de CA en un 1 digital y lo envía al procesador por medio del cable conector.

Contrariamente, si el interruptor superior está abierto, no aparece ningún voltaje de CA en la terminal de entrada 00. El convertidor de señal de entrada 00 responderá a esta condición enviando un 0 digital al procesador. Las quince terminales restantes del convertidor se comportan de manera idéntica.

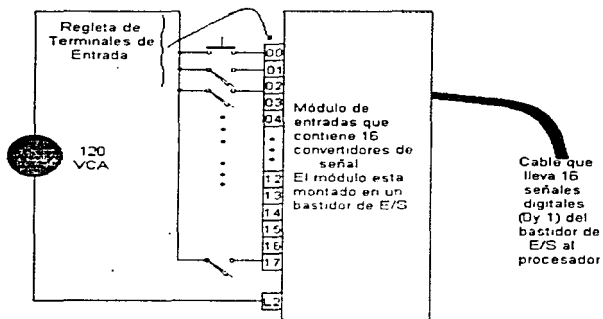


Figura 3.5 Bastidor de Entrada Salida

Un módulo de entradas debe permitir al CPU del PLC efectuar una lectura del estado lógico de los captadores asociados al mismo. A cada entrada corresponde un vía que trata la señal eléctrica para elaborar una información binaria, el bit de entrada que se memoriza. El conjunto de los bits de entradas forma la palabra de entradas. Periódicamente el procesador direcciona a través del módulo, el contenido de la palabra de entrada del módulo se copia, entonces en la memoria de datos del Automata programable. Cada vía se filtra (parásitos, rebotes de contactos) y se aísla eléctricamente del exterior por razones de fiabilidad y de seguridad. Un módulo de entradas se define principalmente por su modularidad (cantidad de vías) y las características eléctricas aceptadas.



El módulo analógico permite establecer la correspondencia entre valores numéricos y variables analógicas (corriente o tensión) La resolución esta en función de la calidad de los bits utilizados para la codificación numérica La rapidez de la conversión es igualmente una característica del modulo Existen dos tipos de modulos de entradas analogicas

- 1 - Las entradas de detección de umbral
- 2 - Las entradas de medidas analogicas (conversion analógica / numerica)

Generalmente es posible un reglaje de escala que permite ampliar las posibilidades de medida A menudo se utiliza tal modulo para medir la temperatura, usualmente el transductor se conecta a modulo el cual realiza o no ciertas operaciones de linealización de la señal suministrada por el captador antes de efectuar la escritura de la palabra en la memoria

### 3.2.2 Modulo de salidas

Un modulo de salidas permite al PLC actuar sobre los accionadores El mismo realiza la correspondencia *Estado Lógico Señal* Periodicamente el procesador direcciona el modulo y provoca la escritura de los bits de una palabra memoria en las vias de salida del modulo El elemento de conmutación del modulo es ya electrónico (transistor, TRIAC) o bien electromecánico (contactos de relevadores internos al modulo)

Cada salida es la imagen analogica del valor numerico codificado en una cadena de bits definida por el programa Los módulos analógicos de salida cuando están asociados a los preaccionadores, permiten realizar funciones de mando y regulación

Considérese que cada modulo de salida es una tarjeta de circuito impreso que contiene 16 amplificadores de salida, cada amplificador de salida recibe del procesador una señal digital de baja potencia y la convierte en una señal capaz de manejar una carga industrial Un modulo de

salida del PLC moderno tiene amplificadores con aislamiento óptico que usan un Triac como el dispositivo de control de carga conectado en serie. El funcionamiento del Triac se menciona en el capítulo 2.

Cada dispositivo de carga de salida está conectada a una terminal en particular de la regleta de terminales de un módulo de salida, como se muestra en la figura 3.6. Así por ejemplo, si el amplificador de salida 02 recibe un uno digital del procesador, responderá a ese uno digital aplicando 120 volts de CA a la terminal 02 de el módulo de salida, encendiendo por lo tanto un foco. A la inversa, si el procesador envía un 0 digital al amplificador de salida 02, el amplificador no aplica potencia a la terminal 02, del módulo y el foco se apaga. Además de 120 V de CA, hay módulos de E/S disponibles para interconexión a otros niveles industriales, incluyendo 5 volts CD (dispositivos TTL), así como una diversidad de voltajes para aplicaciones del mismo.

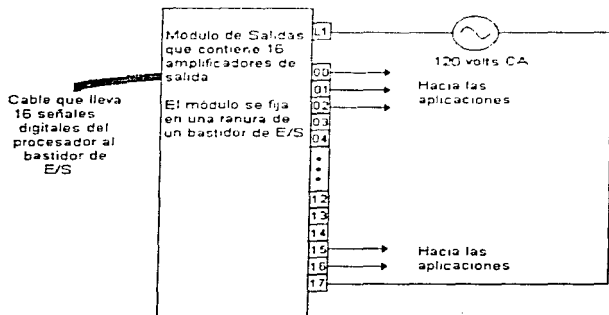


Figura 3.6 Módulos de salidas.

### 3.3 EL PROCESADOR

El procesador de un PLC contiene y ejecuta el programa del usuario. Para poder hacer este trabajo el procesador debe almacenar las condiciones de entrada y salida más recientes. Las condiciones de entrada se almacenan en el archivo de imágenes de entrada, que es una parte de la memoria del procesador ( RAM ). Esto es cada terminal del módulo de entrada de la sección de entrada/salida. Este lugar determinado está destinado exclusivamente a la tarea de llevar el registro de la última condición de su terminal de entrada. El procesador requiere conocer las últimas condiciones de entrada pues las instrucciones del programa de usuario dependen de estas condiciones. En otras palabras, una instrucción individual puede tener una salida si una entrada particular está en alto y otra salida diferente si esa entrada está en bajo.

Las condiciones se almacenan en el archivo de imágenes de salida, que es otra parte de la memoria del procesador. El archivo de imágenes de salida tiene la misma relación con las terminales de salida de la sección entrada/salida que el archivo de imágenes de entrada tiene con las terminales de entrada. Esto es cada terminal de salida tiene asignada una localidad de memoria en el archivo de imágenes de salida. Esa localidad en particular está dedicada exclusivamente a la tarea de llevar el registro de la última condición de su terminal de salida.

Por supuesto, la situación de salida difiere de la situación de entrada en relación con la dirección de flujo de la información. En la situación de salida, el flujo de información es del archivo de imágenes de salida al módulo de salida, mientras que en la situación de entrada el flujo de información es del módulo de entrada al archivo de imágenes de entrada. Estas relaciones son mostradas en la figura 3.7, en esta se muestra el diagrama a bloques del procesador de un PLC.

Las localidades en los archivos de imágenes de entrada y salida se identifican por direcciones. Cada localidad tiene su propia dirección que es única. Por ejemplo una localidad de memoria en el archivo de imágenes de entrada puede tener la dirección E.001/06 y una localidad

particular del archivo de imágenes de salida puede tener la dirección S 003/17. Los diferentes fabricantes de PLC tienen sus propios métodos para asignar direcciones

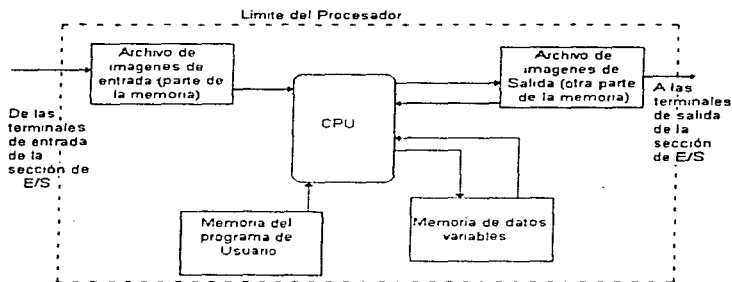


Figura 3.7 El procesador de un PLC.

La sección del Procesador que se encarga de la ejecución del programa es denominada Unidad de Procesamiento Central. La CPU se indica en el diagrama de bloques del procesador (figura 3.7). A medida que la CPU ejecuta el programa de usuario, el archivo de imágenes de salida se está actualizando continuamente y de inmediato. En otras palabras, si la ejecución de una instrucción solicita un cambio con una de las localidades del archivo de imágenes de salida, ese cambio se efectúa de inmediato, antes de que el procesador avance a la siguiente instrucción. Esta actualización inmediata es necesaria ya que las condiciones de salida muchas veces afectan instrucciones posteriores del programa.

Por ejemplo, supóngase que una cierta instrucción cause que la dirección de salida S 0114/17 cambie de bajo a alto. Una instrucción posterior pueda decir, en efecto, si la entrada E 013/06 y la salida S 014/17 son ambas altas, entonces llevar a la salida S 015/02 a alto. Para poder llevar a cabo esta última instrucción, el procesador debe reconocer que la salida S 014/17 está actualmente en alto como resultado de la instrucción anterior.

Por tanto, se puede ver que el archivo de imágenes de salida tiene una naturaleza doble: su primera función es la recepción inmediata de información de la CPU, pasada *de poco* después a los módulos de la sección de E/S. Por otra parte, también debe ser capaz de pasar información de salida "de regreso" a la CPU, cuando la instrucción del programa de usuario que la CPU está procesando solicita un elemento de la información de salida.

El archivo de imágenes de entrada no tiene esta naturaleza doble. Su única misión es adquirir información de las terminales de entrada y pasar "adelante" esa información a la CPU, cuando la instrucción que está procesando la CPU, solicita un elemento de información de entrada. Las flechas de flujo de información de la figura 3-7 ilustran estas ideas.

Una porción particular de la memoria del procesador se usa para el almacenamiento de las instrucciones del programa de usuario; es denominada memoria del programa de usuario, para hacer referencia a la figura 3-7. Antes de que un PLC pueda comenzar a controlar un sistema industrial, una persona debe ingresar las instrucciones codificadas que constituyen el programa de usuario.

A medida que el usuario ingresa las instrucciones, automáticamente estas se almacenan en localidades secuenciales en la memoria del programas de usuario. Esta ubicación secuencial de las instrucciones del programa es autodefinida por el PLC — sin ningún arbitrio del usuario. La cantidad total de instrucciones en el programa de usuario puede variar en una gran cantidad, para

Por ejemplo, supóngase que una cierta instrucción cause que la dirección de salida S :0114/17 cambie de bajo a alto. Una instrucción posterior pueda decir, en efecto, si la entrada E :013/06 y la salida S :014/17 son ambas altas, entonces llevar la salida S :015/02 a alto. Para poder llevar a cabo esta última instrucción, el procesador debe reconocer que la salida S :014/17 está actualmente en alto como resultado de la instrucción anterior.

Por tanto, se puede ver que al archivo de imágenes de salida tiene una naturaleza doble: su primera función es la recepción inmediata de información de la CPU, pasándola poco después a los módulos de la sección de E/S. Por otra parte, también debe ser capaz de pasar información de salida "de regreso" a la CPU, cuando la instrucción del programa de usuario que la CPU está procesando solicita un elemento de la información de salida.

El archivo de imágenes de entrada no tiene esta naturaleza doble. Su única misión es adquirir información de las terminales de entrada y pasar "adelante" esa información a la CPU cuando la instrucción que está procesando la CPU solicita un elemento de información de entrada. Las flechas de flujo de información de la figura 3.7 ilustran estas ideas.

Una porción particular de la memoria del procesador se usa para el almacenamiento de las instrucciones del programa de usuario; es denominada memoria del programa de usuario, para hacer referencia a la figura 3.7. Antes de que un PLC pueda comenzar a controlar un sistema industrial una persona debe ingresar las instrucciones codificadas que constituyen el programa de usuario.

A medida que el usuario ingresa las instrucciones automáticamente estas se almacenan en localidades secuenciales en la memoria del programa de usuario. Esta ubicación secuencial de las instrucciones del programa es autocontrolada por el PLC, sin ningún arbitrio del usuario. La cantidad total de instrucciones en el programa de usuario puede variar en una gran cantidad, para

controlar una máquina sencilla, hasta varios miles, para el control de un proceso o máquina complicados. Una vez completado el procedimiento de programación, el usuario manualmente conmuta el PLC del modo programación al modo ejecución, lo que hace que el CPU el programa de principio a fin repetidamente.

Para organizar y editar programas, se encontrara convenientemente agrupar las instrucciones en escalones de instrucciones, comúnmente llamados escalones. La palabra escalón se deriva del hecho de que estos grupos de instrucciones semejan los escalones de una escalera al representares el programa de usuario en formato de lógica de escalera. La figura 3.8 que muestra el circuito del relevador lógico para un sistema es un ejemplo de lógica de escalera

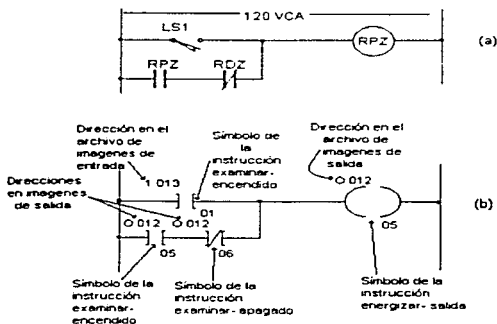


Figura 3.8 Diagrama de escalera con relevadores (a), Diagrama de lógica en escalera del PLC

La figura 3.8 en (b) es una representación de lógica en escalera con escalon de instrucciones que puede reproducir la acción del circuito alambrado con relevadores. La representación de esta figura en (b) es la que aparece en la pantalla del TRC de la terminal de programación. Como muestra en la figura el escalón consiste en cuatro instrucciones, representadas por tres símbolos tipo contacto a la izquierda y el símbolo tipo bobina en la derecha.

Quienes trabajan con PLC generalmente hacen referencia a las instrucciones examinar - encendido como instrucciones normalmente abiertas dado que se comportan como contactos eléctricos normalmente abiertos. Notese la similitud de esas ideas con los circuitos de lógica alambrada con relevadores. Este escalón de instrucciones en la figura 3.8(b) reproduce el comportamiento del circuito con relevadores de (a).

Para ejecutar el programa, la CPU maneja un escalón de instrucciones de programa a la vez. Mientras el PLC esté en el modo de *Ejecución*, el procesador ejecutará el programa una y otra vez. En la figura 3.9 se representa completa la serie repetitiva de eventos. Comenzando por la parte superior del círculo que representa el ciclo de barrido, la primera operación es el barrido de entrada.

Durante el barrido de entrada, el estado actual de cada terminal de entrada se almacena en el archivo de imágenes de entrada, actualizándolo. Como todas las operaciones del PLC, el barrido de entrada es bastante rápido.

El tiempo transcurrido depende de la cantidad de módulos y terminales de entrada en la sección de E/S, la velocidad de reloj del CPU y otras características técnicas de la CPU. Aproximadamente, un sistema que contenga 10 a 20 terminales tendrá un tiempo de barrido de entrada del orden de unos cuantos cientos de microsegundos.



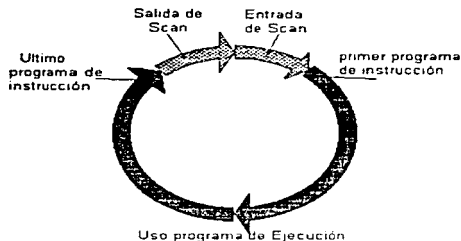


Figura 3.9 Ciclo de barrido de un PLC.

A continuación del barrido de entrada, el procesador ejecuta el programa de usuario, proceso llamado a veces "barrido del programa", como se representa en la figura 3.9. La ejecución consiste en comenzar en el primer escalón de instrucciones del programa, llevando a cabo la secuencia de ejecución de seis pasos descrita anteriormente, luego pasar al siguiente escalón, llevando a cabo su secuencia de ejecución, y seguir así hasta el último escalón del programa. El tiempo de ejecución del programa dependerá de la longitud de este programa, la complejidad de los escalones de instrucciones y las especificaciones técnicas de la CPU. Se puede decir que un programa de 20 a 30 escalones de instrucciones tendrá un tiempo de ejecución de varios milisegundos.

Durante toda la ejecución del programa de usuario, el procesador mantiene actualizado el archivo de imágenes de salida, así como se indicó anteriormente. Sin embargo, las terminales de salida mismas no son actualizadas constantemente. En cambio, el archivo de imágenes de salida completo se transfiere a las terminales de salida durante el barrido de salida que sigue la ejecución

del programa. Esto se hace más claro en la figura 3.9. El tiempo de barrido de salida para 10 a 20 módulos de salida generalmente estará en el orden de unos cuantos cientos de milisegundos, parecido al barrido de entrada.

Es perfectamente razonable que las terminales de salida sean actualizadas todas a la vez durante el barrido de salida, en lugar de hacerlo en forma individual e inmediata durante la ejecución del programa de usuario. Esto es porque, en general, los dispositivos de carga son irremediabilmente lentos en comparación con el ciclo de barrido del PLC. Considérese un ejemplo típico. Un solenoide verdadero puede requerir dos o tres ciclos de barrido de la línea de CA para que esté presente el flujo magnético y pueda ejercer una atracción sobre su armadura (la parte móvil del mecanismo operado por el solenoide).

Dos o tres ciclos de la línea de CA tardan entre 30 y 50 ms, tiempo suficiente para que el PLC lleve a cabo todo su ciclo de barrido varias veces. En otras palabras, si el PLC en uno de sus pasos por su ciclo de barrido indica al solenoide su energización. Tiene que continuar enviando la misma señal varias veces antes de que el solenoide pueda responder. Bajo estas circunstancias, ¿por qué molestarse en retrasar la ejecución del programa para pasar de inmediato la señal de salida al dispositivo de salida? La espera por el barrido de salida es tiempo suficiente para casi todas las situaciones de controles industriales.

En pocas ocasiones durante la ejecución de un programa de usuario puede ser necesario actualizar de inmediato una terminal de salida. Los PLC más avanzados contemplan mecanismos para lograr esto. Su conjunto de instrucciones (lista de instrucciones legales) contiene una instrucción de salida inmediata que temporalmente suspende la operación normal del programa, actualiza la terminal de salida y regresa al programa. Esta capacidad se muestra en la figura 3.10.

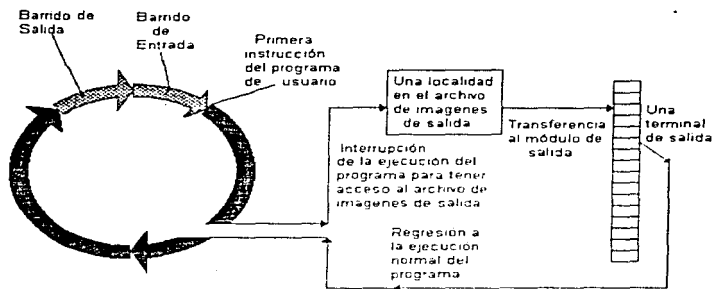


Figura 3.10. Visualización de las funciones inmediatas de E. S. caso salida.

Algunos PLC poderosos también contienen instrucciones especiales de entrada inmediata que pueden usarse para actualizar una localidad particular en el archivo de imágenes de entrada justo antes de ejecutar una instrucción que use esa entrada. Para justificar el tomarse esta molestia, la situación de control debe ser tan exigente que en realidad tenga importancia si la entrada ha cambiado durante los pocos milisegundos que puedan haber transcurrido entre el último barrido de entrada y el punto en el programa de usuario donde se encuentre la instrucción crítica.

#### Memoria De Datos Variables

Hasta este punto se han visto solamente tres instrucciones, a saber, examinar - encendido, examinar - apagado, y energizar - salida. Estas tres están clasificadas como instrucciones tipo relevador, pues reproducen las acciones de los contactos y bobinas de relevadores. Los PLC

poseen otras instrucciones además de aquellas tipo relevador. En general, un PLC estándar tiene las siguientes instrucciones que le dan estas capacidades :

- 1.- Pueden introducir un retardo en un esquema de control. Esto es, el PLC tiene temporizadores internos que reproducen las acciones de los temporizadores descritos anteriormente.
- 2.- Pueden contar eventos, con los eventos representados como cierre de interruptores. Esto es, el PLC contiene contadores internos, como los contadores ascendentes y descendentes.
- 3.- Después de todo, un PLC es una computadora. Por lo tanto, puede ejecutar operaciones aritméticas con los datos residentes en su memoria.
- 4.- Puede ejecutar comparaciones numéricas (mayor que, menor que, etc.)

Estas cuatro capacidades implican que el PLC pueda almacenar y trabajar con números. Naturalmente, los números pueden cambiar de un ciclo de barrido al siguiente (ocurren eventos y se cuentan, el tiempo transcurre, etc.) Por lo tanto, el PLC debe tener una sección de su memoria reservada para mantener la cuenta de números variables, o datos, que intervienen en el programa de usuario. Esta sección de memoria será llamada memoria de datos variables.

Hay muchos tipos de datos numéricos que pueden estar presentes en la memoria de datos variables. Seis tipos cuya comprensión es importante son :

1. El valor predeterminado de un temporizador, o número de segundos durante los que el temporizador debe permanecer energizado para dar una señal de "tiempo fuera", o expiración.

2. El valor acumulado de un temporizador, o número de segundos que han transcurrido desde que el temporizador fue energizado
3. El valor predeterminado de un contador, o al que un contador ascendente debe contar para dar una señal de "conteo completo" Para un contador descendente es el número del que partirá el contador en su cuenta descendente
4. El valor acumulado del contador es la cuenta actual que ha sido registrada por un contador ascendente Para un contador descendente, es la cuenta actual faltante antes de que el contador llegue a cero
5. El valor de una variable física en el proceso controlado, que se obtiene midiendo la variable física por medio de un transductor y convirtiendo el voltaje (o corriente) de salida analógico del transductor a un formato digital, con un convertidor A/D (ADC)
6. El valor de la señal de salida enviada a un controlador en el proceso controlado, que se obtiene mediante un cálculo matemático efectuado por el PLC El usuario debe indicarle al PLC el modo en que se efectuarán los cálculos matemáticos Esto ocurre durante el ingreso del programa de usuario desde la terminal de programación Los valores de salida calculada son digitales en el PLC y generalmente son convertidos a analógicos por el convertidor D/A (DAC) antes de ser enviados al controlador

Cuando la CPU ejecuta una instrucción para la cual ciertos valores de datos deben conocerse, ese valor del dato es traído de la memoria de datos variables Cuando la CPU ejecuta una instrucción que produce un resultado numérico, ese resultado se introduce en la memoria de datos variables Por lo tanto, la CPU puede leer de o escribir a la memoria de datos variables Esta interacción bidireccional queda señalada en la figura 3.7 Comprendase que esta relación es

diferente a la relación entre la CPU y la memoria del programa de usuario. Cuando el programa está en ejecución, la CPU puede sólo leer de la memoria del programa de usuario, mas nunca escribir en ella

La tercera parte esencial el un PLC es el dispositivo de programación, que también se llama terminal de programación o solamente programador. Algunos PLC están equipados con un dispositivo de programación construido por la misma compañía que fabrica el PLC, pero en muchas instalaciones el dispositivo de programación es una computadora de escritorio o portátil con una tarjeta de interfaz de comunicación instalada a una ranura de expansión. Un cable de comunicación serial conecta la tarjeta de interfaz con el procesador del PLC. Con un software especial instalado en el disco duro de la computadora, las pulsaciones en el teclado de la computadora representan instrucciones del programa de usuario que son convertidas en el código apropiado por la tarjeta de interfaz. De allí pasan por el cable de comunicación al procesador. El software del fabricante del PLC presenta solicitudes (prompts) en la pantalla del CRT para ayudar al programador. También despliega en la pantalla varios escalones del programa de lógica en escalera. Esto permite al usuario observar la ejecución del programa escalon por escalón. Posteriormente, cuando el programa esté en funcionamiento la pantalla sera de ayuda para la localización de fallas y edición (cambio) del mismo

## CAPITULO IV

### APLICACIONES INDUSTRIALES

#### 4.1 INTRODUCCIÓN

Algunas aplicaciones industriales requieren la manipulación repetitiva de un dispositivo tipo herramienta a través del espacio, con el requisito adicional de que las acciones repetitivas de manipulación deben ser fácilmente modificables por el usuario. En las condiciones que se deban cumplir ciertos requisitos es decir la manipulación en un aspecto y la facilidad en la modificación del mismo. Uno de los campos que cumplen esos requisitos es la robótica, donde este tipo de mecanismos desempeñan manipulaciones mecánicas y además pueden ser reprogramadas desde una fuente, es decir una computadora, un microcontrolador o un PLC.

#### 4.2 ROBÓTICA.

La robótica es una ciencia aplicada que ha sido considerada como una combinación de tecnología de las máquinas - herramienta y de la informática. Comprende campos tan aparentemente diferentes como son el diseño de máquinas, teoría de control, microelectrónica, programación de computadoras, inteligencia artificial, factores humanos y teoría de la producción. El sector de investigación y desarrollo está interviniendo en todas estas áreas para mejorar la forma en que los robots trabajan y "piensan". Es probable que los esfuerzos de investigación den lugar a futuros robots que hagan que las máquinas actuales parezcan primitivas. Los avances en tecnología ampliarán la gama de las aplicaciones industriales de los robots.

Los campos técnicos anteriormente mencionados son muy independientes en la forma en que se utilizan en robótica. Para apreciar la tecnología de la robótica y su programación debe conocerse como los robots se aplican en la industria y se debe de estar familiarizado con el empleo de sensores para la programación de robots. Para entender el uso de un actuador final debe de conocerse que la función fundamental de un robot es manipular piezas y herramientas.

Para describir la tecnología de un robot, se tienen que definir sus características técnicas relativas a la forma en que está construido en robot y la forma en la cual opera.

Los robots trabajan con sensores, herramientas y pinzas, requieren de programación y son utilizados para ejecutar trabajos en la industria. La autonomía del robot se refiere a la construcción física, brazo y muñeca de la máquina. La mayoría de los robots utilizados en la actualidad están montados sobre una base que está sujeta al suelo.

La muñeca está construida por varios componentes que le permiten orientación en diversas posiciones, los movimientos relativos están entre cuerpo, brazo y muñeca son a través de articulaciones. Los movimientos de las articulaciones suelen implicar deslizamientos o giros. El cuerpo, brazo y muñeca se denomina también manipulador.

Unida a la muñeca del robot va una mano, cuyo nombre técnico es "actuador final" y no es considerado como parte de la anatomía del robot y es utilizado para realizar una tarea específica.

Los robots industriales están diseñados para realizar un trabajo productivo. El trabajo se realiza permitiendo que el robot se desplace mediante movimientos y posiciones. Los movimientos del robot se dividen en dos categorías: movimiento de brazo y cuerpo y movimiento de muñeca. El movimiento de articulaciones individuales asociados con estas dos



categorías se denomina "grado de libertad", un robot típico esta dotado de cuatro a seis grados de libertad.

Para la conexión de las articulaciones del manipulador se emplean elementos rígidos denominados uniones. La cadena de unión - articulación - unión se llama unión de entrada al eslabón al que se encuentra próximo a la base en la cadena

Las articulaciones del brazo y cuerpo están diseñadas para permitir que el robot desplace su actuador final a la posición final deseada dentro de los límites del tamaño del robot. Para robots de configuración polar, cilíndrica o de brazo articulado, están asociados tres grados de libertad :

1. Transversal vertical. Es la capacidad para desplazar la muñeca hacia arriba o abajo y proporcionar la postura vertical.
2. Transversal radial. Implica la extensión o retracción (movimiento hacia adentro o afuera) del brazo desde el centro vertical del robot.
3. Transversal rotacional. Es el movimiento del brazo al rededor del eje vertical.

Los robots industriales disponibles en el mercado pueden clasificarse en cuatro categorías, según sus sistemas de control.

1. Robots de secuencia limitada.
2. Robots de reproducción con control de punto a punto.
3. Robot de reproducción con control recorrido continuo.
4. Robots inteligentes.

De las cuatro categorías, los robots de secuencia limitada representan el control de nivel más bajo y los robots inteligentes el más sofisticado.

Los robots de secuencia limitada no utilizan servocontrol para indicar las posiciones relativas a las articulaciones, al contrario se controlan por la posición de los interruptores de fin de carrera y/o topes mecánicos para establecer los puntos finales de desplazamiento para cada una de sus articulaciones. El establecimiento de las posiciones o secuencias de estos topes implica una puesta a punto mecánica del manipulador en lugar de una programación del robot en el sentido habitual del término.

Con este método de control, las articulaciones individuales solo pueden desplazarse en sus límites de desplazamiento externo, esto tiene el efecto de limitar seriamente el número de puntos que pueden especificarse en un programa para estos robots.

La secuencia en que se produce el ciclo de movimiento se define mediante un conmutador paso a paso, una placa de clavijas, o bien otro dispositivo de secuencia. Este dispositivo que constituye el controlador del robot, señala cada uno de los actuadores particulares para que operen en una secuencia adecuada. No suele existir ninguna realimentación asociada con un robot de secuencia limitada para indicar que se alcanzó la posición deseada. Cualquiera de estos tres sistemas de impulsión puede utilizarse con este tipo de sistemas de control, sin embargo, la impulsión neumática parece ser el tipo utilizado con mayor frecuencia. Las aplicaciones para este tipo de robot suelen implicar movimientos simples, tales como operaciones de *tomar* y *situar*.

Los robots de reproducción utilizan una unidad de control más sofisticada, en la que una serie de posiciones o movimientos son "enseñados" al robot, registrados en memoria y luego repetidos por el robot bajo su propio control. El término "reproducción" es descriptivo de este

modo operativo general. El procedimiento de enseñar y registrar en memoria, se conoce como la programación del robot.

Los robots de reproducción suelen tener alguna forma de servocontrol para asegurara que las posiciones conseguidas por el robot son las posiciones que se le "enseñaron".

Los robots de reproducción pueden clasificarse en Robot Punto a Punto (PTP) y Robot de Trayectoria Continua (CP). Los robots punto a punto son capaces de realizar ciclos de movimiento que consisten en una serie de localizaciones de puntos deseados y acciones afines. Al robot se le enseña cada punto y estos puntos se registran en la unidad de control del robot; durante la reproducción, el robot se controla para desplazarse desde un punto a otro en la secuencia adecuada. Los robots punto a punto no controlan la trayectoria tomada por el robot para pasar al siguiente punto. Si el programador quiere ejercer una cantidad limitada de control sobre la trayectoria seguida, debe realizarlo mediante la programación de una serie de puntos. El control de la secuencia de posiciones es bastante apropiado para varias aplicaciones, incluyendo las máquinas de carga y descarga y la soldadura por puntos.

### **4.3 LINEA DE ENSAMBLAJE Y DE CONTROL**

Después de la automatización de la producción de piezas y de los materiales constitutivos, la del montaje del producto final y de su control se encuentra en todas las industrias a la orden del día. Ello exige máquinas más flexibles para poder tratar las diferentes variantes de un producto, y evolutivas para seguir las modificaciones en el tiempo.

La concepción modular de las máquinas y su mando por un PLC permiten responder a las necesidades de flexibilidad y de evolución, dentro de este marco, hemos decidido describir dos variantes de máquinas modulares de ensamblaje de control :

- 1.- Una maquina flexible para 3 variantes del producto, tratadas paralelamente.
- 2.- Una maquina flexible para 108 variantes del producto, cada una de las cuales se trata por separado por campaña de produccion.

En ambos casos, la máquina utiliza un PLC por modulo con una interconexión de los PLC's por red, cuando es necesario.

#### **4.3.1 LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE ENSAMBLAJE Y DE CONTROL.**

La fabricación de objetos de serie, la automatización de las producciones alcanza niveles muy diferentes según la fase de elaboración :

- 1.- En la primera fase, que consiste en obtener los materiales y los semi-productos de base, la producción está integralmente automatizada (industrias de procesos e industrias de los semi-productos en láminas, películas, hilos, tubos, etc )
- 2.- En la segunda fase, el que consiste en fabricar las piezas constitutivas de los productos terminados, la automatización de los productos puede estar muy avanzada : inyección, corte, despegado, engastado, plegado, etc., se hacen en máquinas automáticas con líneas de producción rápidas.

3.- En la última fase, el del ensamblaje y de control del producto terminado, la automatización sólo se ha desarrollado recientemente, ya que en este caso, tropieza con dos tipos de dificultades importantes :

- a).- Económica.: para adaptarse a las necesidades del mercado, las familias de los productos terminados se diversifican y evolucionan : así, para una variante dada, las series son reducidas y el periodo de producción corto.
- b).- Técnica : la toma automática de una pieza a partir del granel es un problema aún mal resuelto : los depósitos vibratorios destinados a este tipo de operación, son una solución que no conviene a todos los tipos de piezas.

Para la competitividad y la calidad de los productos, la automatización racional de las operaciones de ensamblaje y de control resulta ahora esencial. Esta automatización exige máquinas que sean más flexibles y evolutivas :

- a).- Flexibles para poder tratar la mayor cantidad de variantes del producto :
- b).- Evolutivas para seguir en el tiempo las modificaciones de ensamblaje de los productos.

Como veremos, estos imperativos lo más a menudo conducen a alterar en la misma máquina operaciones que deben continuar siendo manuales (instalación de cierto tipo de piezas), con operaciones automatizadas (instalación de otros tipos de piezas, engaste, soldaduras, mercados, controles, etc.).

**4.3.1.1 La Evolución De Los Puestos De Ensamblaje Y De Control**

La alternativo a la automatización es el ensamblaje manual de los productos que se pueden optimizar para obtener una mayor eficiencia del operador :

- 1.- Piezas fácilmente accesibles en los depositos vertedores.
- 2.- Cilindros neumáticos que facilitan los engastes, los marcados, etc., útiles neumáticos de atornillado, etc.

Para los productos que comprenden numerosas piezas, se puede seleccionar el montaje en línea : los productos circulan de puesto en puesto por tapiz o cadena de transferencia. En cada uno de los puestos, un operador realiza ya sea un ensamblaje o bien un control

Por el contrario, para responsabilizar al operador y enoblecceer su tarea se puede optar por un ensamblaje completo del producto en un solo puesto ; entonces es importante completarlo por un puesto de control automático que opere en tiempo enmarrado.

Antes de abordar la automatizacion del ensamblaie, para numerosos productos percibimos así que el autómatá de control es una mera etapa sencilla que permite mejorar la calidad en la competitividad del producto.

**4.3.1.2 La Distribución De Las Piezas A Partir Del Granel**

Las piezas constitutivas de los productos en general se suministra a granel. Tomar automáticamente cada pieza en el granel, orientarla y distribuirla al útil de ensamblaje es en general un problema difícil.

En la actualidad, la tecnología de los depósitos vibratorios es la más industrial, las técnicas de reconocimiento de piezas para su toma en el granel se encuentra aún en un estado poco competitivo.

Otra solución en el desarrollo es el ordenamiento de las piezas en la bandeja, o su acondicionamiento en las bandas de cargadores (figura 4-1). Estas bandejas o estos cargadores se adaptan en las máquinas de ensamble para una distribución automática de las piezas.

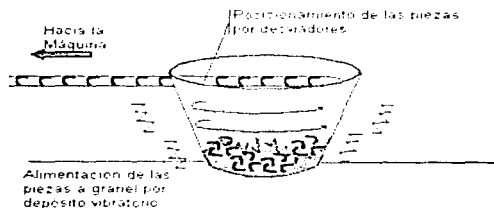


Figura 4-1 Distribución de Piezas

#### 4.3.1.3 Las Transferencias Vinculadas Circulares O Lineales

En ensamble automatizado exige un util de instalación específico para cada pieza. Esta es la razón por la que es necesario limitar la cantidad de piezas a instalar en cada puesto multiplicando la cantidad de puestos a lo largo de una línea de transferencia de productos.

En un modo tradicional las transferencias están vinculadas, es decir, que los puestos reanudan su trabajo simultáneamente y lo cumplen en el interior del mismo tiempo de ciclo global.

Ya sea en su forma circular o en su forma lineal, las transferencias vinculadas son generalmente sencillas, pero responden mal a las necesidades crecientes de flexibilidad y de evolución.

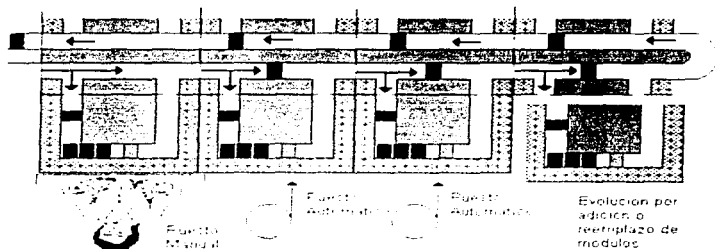
#### **4.3.1.4 Las Transferencias Libres Modulares**

Los puestos operan independientemente unos de otros en las piezas vinculadas en general sobre las paletas que circulan libremente de puesto en puesto.

En las transferencias libres "en línea", se realizan las operaciones sobre la línea principal de circulación. Por el contrario, en las transferencias libres "fuera de línea" (figura 4.2), se realizan las operaciones fuera de la línea principal de su recorrido. Así cada puesto puede seleccionar la paleta "porta-pieza" en la que debe operar, así se puede tratar simultáneamente varias variantes de producto. Se completa la flexibilidad obtenida con una gran facilidad de evolución de la unidad por adición o reemplazo de módulos. Existe una clasificación de los módulos antes mencionados los cuales se enuncian a continuación :

- 1.- Los módulos para puestos manuales o semi-automáticos, para la instalación de ciertas piezas, etc..
- 2.- Los módulos para puestos automáticos, para la instalación de otras piezas, los ensamblajes, los relajes del producto, las operaciones de control final, etc.





*Figura 4.2 Transferencia libre fuera de línea*

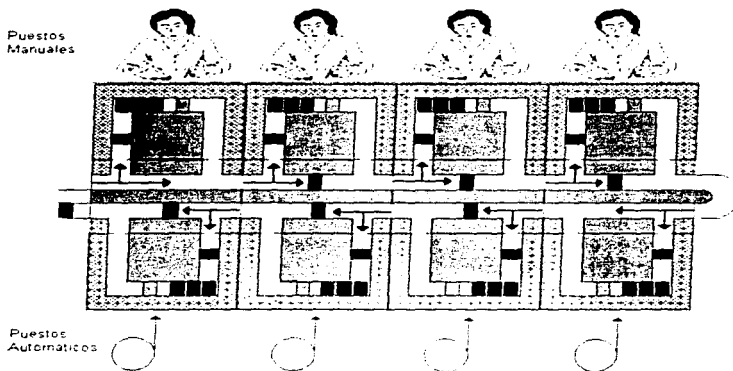
Todos los módulos se denominan "fuera de la línea"; ya que operan fuera de la línea principal de transferencia de productos, seleccionan entre los diferentes productos que pasan aquellos que deben tratar.

Así, es posible ensamblar y controlar varias variantes de productos en la misma máquina. Todos los puestos disponen de una capacidad de almacenamiento suficiente para que el operador no se sienta al servicio de la máquina y para responder a las necesidades de flexibilidad. Cada producto se ensambla en una paleta que circula de puesto de puesto de forma automática gracias al distintivo de código evolutivo que la misma lleva.

A partir de estos elementos estándares se puede construir fácilmente una unidad para el ensamblaje y el control de cada familia de productos. La organización de la unidad puede ser muy diferente, según el perfil de los productos imperativos de producción requeridos.

Citemos, a modo de ejemplo :

- La unidad presentada en la figura 4.3, la que con cuatro puestos manuales y cuatro puestos automáticos trata tres variantes de productos simultáneamente ;



*Figura 4.3 Puestos manuales y puestos automáticos*

Claro está, tales unidades pueden ser modificadas según la evolución de los productos y de las cantidades requeridas. Esta es la razón por la que :

- cada módulo comprende sus propios medios de mando que son programables y por lo tanto reprogramables ;
- el conjunto es modular a dos que permiten, ya sea simples cambios de puestos (un puesto manual puede convertirse en automático), o bien, una reanudación completa de la unidad con adición de puestos y de módulos de línea

Cada producto está ensamblado en una paleta móvil equipada para recibirlo, sujetarlo con precisión y si se requiere, presentarlo en las diferentes posiciones necesarias para su montaje y su control, véase la figura 4.4.

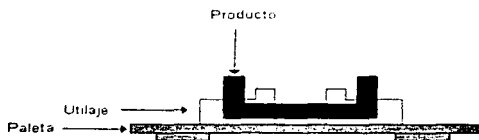
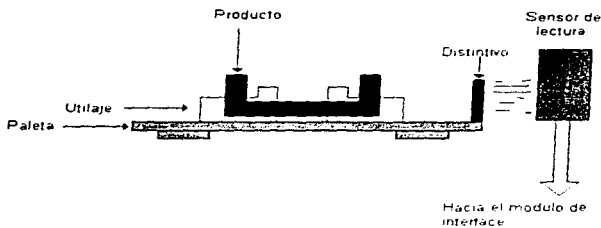


Figura 4.4 Ensamblajes

Para que los diferentes módulos lo identifiquen, cada paleta es equipada con un distintivo que puede ser leído y escrito electrónicamente por un sensor, vinculado a un programa interrogador del autómata programable por medio de una unión en serie (véase la figura 4.5). La capacidad de tales distintivos puede alcanzar varios millares de octetos (1 octeto = 8 bits), permitiendo así codificar :

- 1.- El tipo de producto llevado por la paleta ;
- 2.- El avance de las operaciones ;

- 3.- Diversas informaciones sobre las operaciones efectuadas (defectos) o sobre el producto (trazabilidad) para asegurar la gestión de producción.



*Figura 4.5 Sensor en la paleta de ensamblaje*

#### 4.3.1.5 Estructura De Un Módulo Estándar

Todos los módulos estándares se ubican dentro de los siguientes parámetros :

- 1.- Un dispositivo de selección de las paletas a transferir al módulo (derivación de entradas), que comprende un sensor de lectura de distintivo, un detector de presencia paleta y un cilindro de derivación de entrada ;
- 2.- Un dispositivo de accionamiento por correas de las paletas en el módulo y una zona de almacenamiento de las paletas en espera de la operación ;

- 3- Un dispositivo de trabajo que comprende un detector de presencia paleta, un cilindro de paro de la paleta, un cilindro de indexacion y de bridado, y un sensor de lectura-escritura que permite inscribir en el dispositivo las informaciones relativas a las operaciones efectuadas .
- 4- Un dispositivo de transferencia de las paletas en la línea principal con una zona de espera para el caso en que esa línea se encuentre congestionada

#### **4.3.1.6 Mando Del Módulo Estándar Por Autómata Programable**

Cada modulo debe de poseer su propio mando para poder constituirse y ponerse a punto de forma independiente

Este mando debe ser reprogramable para poder modificarse cuando la unidad evolucione.  
Un autómata programable se integra pues en cada modulo para su mando.

### **4.4 UNIDAD DE ENSAMBLAJE Y DE CONTROL DE MOTORES ELÉCTRICOS PARA EQUIPOS DOMÉSTICOS.**

Este ejemplo de aplicacion a maquinas modulares de ensamblaje prevé la fabricación simultánea en la misma máquina de varias variantes del producto.

Destinados a la selección de diferentes aparatos electrodomésticos (Lavadoras domesticas, Bombas para agua, exprimidores de frutas, Licuadoras, etc.), esta familia de motores eléctricos comprende tres variantes :

- 1.- El motor X es el más repetitivo ; su ensamble está previsto por engaste ;
- 2.- Los motores Y y Z se ensamblan por atornillamiento.

Cada uno de los motores está personalizado

- a).- Por sus fijaciones previstas en uno u otro de los resortes ;
- b).- Por el accionamiento previsto en uno de los extremos del árbol del motor.

El estudio del servicio "metodos" propone el ensamble según el siguiente proceso :

- fase 1 : colocación manual de los dos resortes en la paleta porta-productos ;
- fase 2 : montaje y acoplamiento automático de los cojinetes en los resortes ;
- fase 3 : colocación manual del estator, del rotor y del resorte superior ;
- fase 4 : ensamble final : engaste para los motores X y atornillamiento para los motores Y y Z ;
- fase 5 : montaje automático de las escobillas y de los resortes ;
- fase 6 : control automático de funcionamiento ;
- fase 7 : marcado de los motores que hayan satisfecho el control

La unidad prevista para el ensamble y el control de estos motores eléctricos comprende :

- 1.- Puestos manuales de colocación de piezas, cada uno de ellos está especializado por una variante de motor (X, Y o Z) . Estas especializaciones son las que se enlistan a continuación :
- a).- Acoplamiento de los cojinetes en los resortes (Puesto A para la aplicación)
  - b).- Colocación de los tornillos y atornillamiento de los resortes.
  - c).- Engaste (acoplamiento) de los motores.
  - d).- colocación de las escobillas , fabricación y montaje de los resortes.
  - e).- Control de funcionamiento.
  - f).- Marcado en frío.

g).- Evaluación y clasificación de los motores terminados.

2.- Puestos automáticos para los montajes, el control, el marcado y la evaluación.

#### 4.4.1 ANTEPROYECTO Y PLIEGO DE CONDICIONES FUNCIONAL

Detallamos a continuación, el pre-estudio, el estudio y la realización del puesto A (en este caso es nombrado puesto A al primer puesto de trabajo en el ensamble de dichos motores) del acoplamiento de los cojinetes en los resortes. Precisamos previamente los objetivos generales de la automatización de la unidad y las características que resultan de la elección de los módulos estándares previamente descritos.

##### 4.4.1.1 Objetivos Generales

**Producto :** Familia de motores según tres variantes X, Y, Z.

**Procedimiento :** Ensamblaje de los motores con control final y clasificación.

**Cadencia media :** 600 motores por hora.

**Disponibilidad :** 99%, es decir, un tiempo de paro de producción debido a averías del orden de una hora por mes (como promedio).

**Flexibilidad:** Adaptación a las variantes de cantidades de motores X, Y o Z.

**Evolución :** Adaptación en los tiempos a las evoluciones que conciernen a :

- a).- Las cadencias ;
- b).- Los productos (dimensiones, etc.) ;
- c).- Las familias de productos (nuevas variantes).

La consideración de estos objetivos induce una arquitectura modular elaborada a partir de módulos estándares ,que comprende cuatro puestos manuales y ocho puestos automáticos.

El módulo estándar debido a su concepción asegura cierta cantidad de funciones , véase el cuadro 4.1 .

#### *Adaptación a la unidad de ensamblaje*

El módulo puede conectarse y desconectarse sin molestar el funcionamiento de la línea.

#### *Derivación de las paletas*

La transferencia desde la línea principal hacia el módulo y viceversa está garantizada por un sistema de "derivación" automatizado.

#### *Seguridad de funcionamiento*

Seguridad : los puestos automáticos cuentan con un cárter, cuya apertura se detecta para asegurar un paro de seguridad.

• Disponibilidad : la concepción del módulo asegura una disponibilidad elevada tanto por su fiabilidad (soluciones sencillas y solidas), como por su facilidad de mantenimiento. En caso de avería o de defecto, la línea principal no se ve molestada y las paletas defectuosas se pueden extraer.

#### *Cuadro 4.1 Modulo estándar : Funciones aseguradas*



**■ objetivos de automatización**

El puesto automatico de acoplamiento de cojinetes trata 3 variantes de motores (X, Y y Z). El refinamiento de los objetivos generales conduce a precisar los siguientes limites :

- ciclo de trabajo : 4 segundos máximo.
- autonomia de alimentación en cojinetes : 30 minutos.

Los otros objetivos permanecen inalterados.

Principio de funcionamiento del puesto A

El GRAFCET de la figura 4.6 describe la organizacion de la posicion del trabajo en el puesto A y las operaciones efectuadas .

- 1.- Parada, indexacion en posición y bridado de la paleta .
- 2.- Acoplamiento de los cojinetes en los resortes ;
- 3.- Escritura del código, desembriado y evacuación de la paleta.

El cuadro GRAFCET describe las operaciones efectuadas cuando la paleta se encuentra en posición de trabajo.

La etapa 0 corresponde a la situación de espera de llegada de una paleta a su posición de trabajo : su detección provoca su indexación y su bridado (etapa 1).

Los dos cojinetes presentados por encima de la paleta, sobre las rampas de alimentación desde los recipientes vibratorios, se acoplan en los resortes (etapa 2). A continuación se describe el nuevo código sobre el distintivo y se desembriada la paleta para evacuarla (etapa 3).

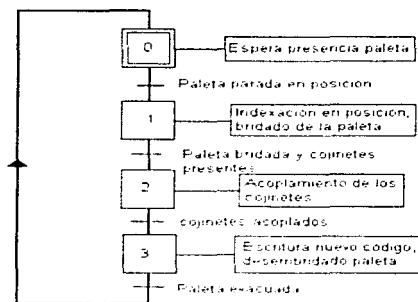


Figura 4.6 GRAFCET de operaciones

#### Módulos de marcha

Se han seleccionado 3 modos de marcha :

- marcha normal automática, cárter de seguridad cerrado ;
- marcha de reglaje ciclo a ciclo ;
- marcha manual de reglaje con mando separado de los accionadores.

#### Seguridad :

En marcha normal automática, la apertura del cárter de seguridad provoca la parada, al final de la carrera, de todos los accionadores.

En marcha de reglajes ciclo a ciclo o manual, el cárter de seguridad puede permanecer abierto para permitir el acceso de un interventor enterado.

Una parada de emergencia provoca el paro general de la maquina.

Disponibilidad :

La principal fuente de parada de produccion esta vinculada a los recipientes y rieles vibratorios de alimentación de los cojinetes.

#### **4.4.2 PRODUCCIÓN NORMAL AUTOMÁTICA**

La produccion normal automatica comprende :

1.- La descripción de las funciones de mando comunes a todos los módulos estándares. Estas funciones (ver cuadro 4.2), se pre-definen y describen por medio de un conjunto de GRAFCET y de ecuaciones lógicas :

- a).- GRAFCET de mando de las derivaciones de paletas ;
- b).- GRAFCET de posicionamiento de las paletas y de escritura del código ;
- c).- Lógica de mando del motor.

2.- La descripción del ciclo de trabajo especifica a la operacion de acoplamiento. Sólo queda por estudiar este ciclo.

##### **4.4.2.1 GRAFCET del ciclo de trabajo**

El ciclo de acoplamiento de los cojinetes, descrito por el GRAFCET figura 4.7, sólo puede comenzar cuando :

- a).- Los dos cojinetes están presentes en los extremos de los rieles (  $p_1$  y  $p_2$  ) ;

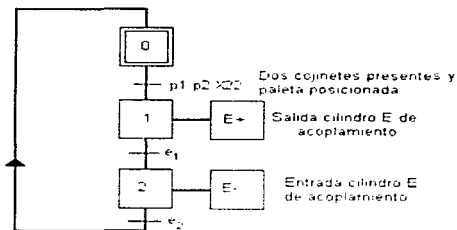


Figura 4 - GRAFCET del ciclo de trabajo

b).- Se emite una autorización para la activación de la etapa 22 : X22 (ver GRAFCET posicionamiento y trabajo, cuadro 4.2).

El paso a la etapa 1, cuando han sido verificadas estas condiciones, provoca el acoplamiento de los cojinetes (orden  $E+$ ), y a continuación la entrada del vástago del cilindro E (orden  $E-$ : etapa 2 activa).

**1.- Derivación de entrada :**

El paso de la paleta delante del puesto provoca la lectura de su distintivo (etapa 11). Si el código leído conviene, la paleta se transfiere al módulo (etapa12). Al retornar el cilindro(etapa 13)se retira un tope si una paleta se encuentra en la línea principal. Solo se permite la lectura si el módulo no está saturado de paletas. Información ms elaborada a partir de la señal pp del detector presencia de paleta (figura 4.8).

**2.-Accionamiento de correas:**

El accionamiento de las correas por motor eléctrico se realiza en continuo. Si las correas han sido previstas para patinar cuando la paleta se detiene.

**4.-Posicionamiento y trabajo:**

Después de la etapa inicial 20, la paleta detenida (C+y detectada ( información dp<sub>2</sub>), se indexa y brida entonces (etapa 21). Posterior a esto continúan :

- a).- El ciclo de trabajo que comienza tan pronto se activa la etapa 22.
- b).- La escritura del código (etapa 23).
- c).- El desembriado(etapa 24).
- d).- La evacuación de la paleta de la posición de trabajo (etapa 24), véase la figura 4.10.

**3.- Derivación de salida :**

Cuando se detecta una paleta (ps) y si la zona de salida está libre (s<sub>1</sub> - s<sub>2</sub>), esta se transfiere por medio del cilindro D de derivación, que en el momento de su retorno esquiva una eventual paleta que viene, gracias a su tope.(figura 4.9)

*Cuadro 4.2 Modulo de funciones de mando secuencial.*

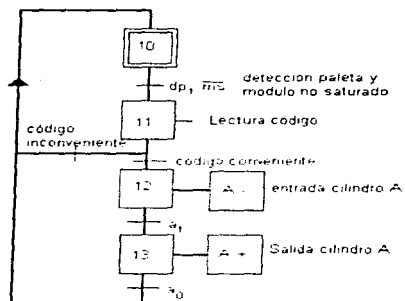


Figura 4.8 GRAFCET de derivación de entrada.

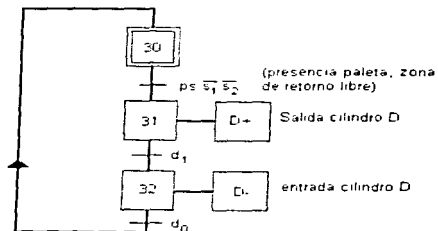


Figura 4.9 GRAFCET de derivación de salida.

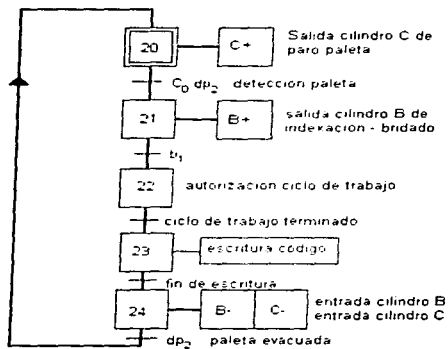


Figura 4.10 GRAFCET de posicionamiento y trabajo.

## **Conclusiones**

Un controlador lógico programable (PLC) es un sistema de control industrial basado en un computadora que usa instrucciones de programación para tomar decisiones de encendido y apagado que de otra manera tendrían que ser realizadas por lógica de relevadores, un sistema como estos proporciona la interfaz para señales de entrada de alto voltaje y los procesa en bajo voltaje, esta interfaz tiene la capacidad de manejo de una gran cantidad de señales de control, esto lo realiza a través de los dispositivos mencionados a lo largo de este trabajo, un PLC puede controlar una gran cantidad de variables que intervienen en un sistema industrial, los sistemas industriales poseen como inconveniente las tensiones elevadas de manejo de dispositivos, así como las corrientes elevadas que solamente podrían ser manejadas con relevadores, ahora con apoyo de los sistemas electrónicos de potencia y los sistemas digitales ya conocidos y empleados, se ha podido realizar el manejo de motores de alta potencia y servomecanismos de control.

Los sistemas industriales requieren de un control preciso, por ejemplo en robótica, donde la precisión resulta ser un factor de gran importancia, por otra parte la gran resolución que ofrecen los PLC's resulta importante para el manejo de variables analógicas. La mayoría de estos componentes emplean transductores de alta precisión para la operación de los dispositivos de control.

Los controladores lógicos programables ofrecen una gran cantidad de ventajas como se mencionaron ya en el capítulo I, quizá una de las desventajas más importantes resulta ser la capacitación de el personal que labora en cierta área, y en muchas ocasiones el temor a ser desplazado por una máquina, en muchas ocasiones el mismo obrero no acepta este hecho y tiende a tratar de imponerse, sobre sistemas automatizados.

Otro factor, que también ya se mencionó es la falta de el personal capacitado para el manejo de este tipo de controladores, dicho personal muchas veces acostumbrado a la lógica por



## CONCLUSIONES

---

relevadores no acepta el hecho de que un dispositivo de menor tamaño pueda lograr el control de cierto proceso industrial. En otras ocasiones las fallas presentadas en los PLC's no son comprendidas por el personal que se encarga del cuidado del control del sistema, y requieren de la supervisión de el fabricante del mismo, cuando la mayoría de las veces las fallas resultan ser por falsos contactos en los sistemas industriales.

## BIBLIOGRAFIA

---

### **Bibliografía**

- 1.- Porras Criado Alejandro. *Autómatas Programables*, Primera Edición, McGraw Hill.
- 2.- Simon André. *Autómatas Programables*, Primera Edición, Ed. Paraninfo.
- 3.- Maloney J. Timothy, *Electrónica Industrial Moderna*, Prentice Hall Hispanoamericana.
- 4.- Mandado Pérez, Acevedo Jorge Marcos, Pérez López Serafin A. *Controladores Lógicos y Autómatas Programables*, Marcombo Boixareu Editores.
- 5.- Bouteille Daniel, Chantreuil Serge, Seloisse Jacques. *Los Automatismos Programables*, Ctef Editions.
- 6.- Dorf C. Richard. *Sistemas Automáticos de Control*, Addison Wesley Iberoamericana.
- 7.- Mano M. Morris. *Ingeniería Computacional Diseño del Hardware*, Prentice Hall Hispanoamericana.
- 8.- Mano M. Morris. *Lógica Digital y Diseño de Computadores*, Prentice Hall Hispanoamericana.
- 9.- Webb John. *Programmable Logic Controllers*, Maxwell Memillan