

36  
280



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



V N A M

“EL CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N

UBALDO ZEPEDA FLORENCIO Y  
ALEXANDRO CORREA SANCHEZ

ASESOR: ING. NICOLAS CALVA TAPIA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

AGOSTO 1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **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 está 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.

# INDICE

## GENERALIDADES

|   | pag.      |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | <b>1</b>  |
| <b>I.- Estructura Básica de los Controladores Lógicos programables.</b> | <b>7</b>  |
| Arquitectura Básica de los PLC.   | 7         |
| Interface de Entrada.   | 8         |
| Unidad Procesadora.   | 8         |
| Sección de Memoria.   | 9         |
| Herramientas de programación.   | 14        |
| Interface de Salida.  | 17        |
| <b>II.- Instrucciones Básicas.</b>                                      | <b>19</b> |
| Instrucciones Básicas.  | 19        |
| Funciones de Relovador.   | 19        |
| - <i>Contactos.</i>   | 19        |
| - <i>Bobinas.</i>   | 19        |
| - <i>Lineas de Enlace.</i>  | 20        |
| - <i>Temporizadores y Contadores.</i>                                   | 21        |
| Instrucciones de Operación de Datos.                                    | 23        |
| - <i>Funciones Matemáticas.</i>   | 23        |
| - <i>Funciones Lógicas.</i>   | 23        |
| - <i>Funciones de Movimiento de Datos.</i>                              | 23        |
| - <i>Funciones de Conversión.</i>                                       | 24        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>III.- Introducción a la Programación.</b> | <b>26</b> |
| Principio de Operación del PLC.              | 26        |
| Significado de las Referencias.              | 27        |
| Programación.                                | 31        |
| <br>   |           |
| <b>IV.- Diagramas de Escalera.</b>           | <b>35</b> |
| Introducción.                                | 35        |
| Formato Básico de los Diagramas en Escalera. | 36        |
| Concepto de Flujo de Energía.                | 38        |
| Reglas Generales para Diagramas de Escalera. | 39        |
| Contactos.                                   | 42        |
| - <i>Criterio de Aplicación.</i>             | 43        |
| - <i>Ejemplos.</i>                           | 44        |
| Temporizadores.                              | 49        |
| - <i>Criterio de Aplicación.</i>             | 50        |
| - <i>Ejemplos.</i>                           | 50        |
| Contadores.                                  | 60        |
| - <i>Criterio de Aplicación.</i>             | 61        |
| - <i>Ejemplos.</i>                           | 62        |
| Registros de Corrimiento.                    | 66        |
| Concepto de Contador de Anillo.              | 69        |
| - <i>Ejemplos.</i>                           | 70        |

|  |  |
|--|--|
| <b>V.- Aplicación de los PLC.</b>                | <b>74</b>  |
| Introducción.                                    | 74   |
| Sistema de Control de los Módulos de Compresión. | 78   |
| - <i>Controlador de Secuencias Programable.</i>  | 78   |
| - <i>Control de Interface del Programa.</i>      | 79   |
| - <i>Controlador de unidades de Interface.</i>   | 79   |
| - <i>Unidades de Interface Programables.</i>     | 80   |
| Descripción del Proceso.                         | 80   |
| - <i>Primera Etapa de Compresión.</i>            | 82   |
| - <i>Segunda Etapa de Compresión.</i>            | 83   |
| - <i>Tercera Etapa de Compresión.</i>            | 84   |
| - <i>Secuencia de purga y presurización.</i>     | 86   |
| - <i>Descripción de la Secuencia.</i>            | 88   |
| - <i>Análisis del Diagrama de escalera.</i>      | 92   |
| - <i>Descripción.</i>                            | 99   |
| <br>   |  |
| <b>Conclusiones</b>                              | <b>104</b>   |
| <br>   |  |
| <b>Apendice A</b>                                | Diagrama de Válvulas.  |
| <b>Apendice B</b>                                | Condensado de Instrucciones del PLC<br>GE Fanuc Serie 90-30. |
| <b>Apendice C</b>                                | Glosario de Términos.  |

## INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCION.

Actualmente el mercado industrial exige de sus miembros características de avance tecnológico para lograr una permanencia competitiva en él. Tales características deben cubrir aspectos suficientes para alcanzar alta calidad, bajo costo, nivel de producción estable, etc. Para lo cual se deben incorporar los adelantos de la tecnología y así modernizar las instalaciones de las empresas.

Esta modernización se dirige básicamente hacia la automatización de sus sistemas de producción. Es aquí donde juega un papel importante la computadora digital y muy especialmente el microprocesador. Estos dispositivos son esenciales para establecer el diseño de los controles automáticos. Así, mediante un control digital apropiado, se obtiene confiabilidad en el sistema, alta calidad del producto, reducción de costos, además de la posibilidad de mantener diversos niveles de producción, lo que garantiza alta eficiencia y versatilidad de la planta de producción.

Los procesos industriales son muy variados y cubren infinidad de productos como son los derivados del petróleo, alimenticios, de la industria textil, la siderúrgica, las centrales generadoras de energía, los tratamientos térmicos, etc. En cada proceso se requiere controlar las variables que

en él intervienen, éstas pueden ser la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, la velocidad, el voltaje, etc.

El mantenimiento de éstas variables se logra mediante la aplicación de los instrumentos o dispositivos de medición y control que permiten condiciones más precisas y exactas de las que un operador podría lograr con un control manual.

Un control manual aceptable sólo se puede lograr si el proceso es relativamente sencillo y si se utilizan instrumentos simples, como manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc. Dado que hoy en día la mayoría de los procesos son demasiado complejos para éste tipo de control, se han desarrollado dispositivos de medición y control más avanzados y de mayor precisión para lograr así una automatización progresiva.

Con lo anterior se ha librado al operario de actuar física y directamente en la planta, dejándole sólo la labor de supervisión del proceso desde centros de control situados en el lugar del proceso, o bien, en salas aisladas separadas ( como en las plantas de energía nuclear ), con lo cual obtenemos un aumento considerable en el aspecto *seguridad industrial*.

Otro gran beneficio que ha acarreado la automatización, es la posibilidad de fabricación de productos complejos en

condiciones estables de calidad y con características que serían imposibles de lograr con controles del tipo manual o que, en su caso, redundaría en un alto costo por manufactura.

Por lo general, en los procesos industriales se deben mantener las variables presentes ya sea en un valor fijo requerido o en un valor variable con el tiempo de acuerdo a una relación predeterminada, o bien, guardando una relación determinada con otra variable.

Un sistema de control que permite el mantenimiento deseado de las variables, se puede definir como aquel que tiene la posibilidad de comparar el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación o error existente sin que el operador intervenga en absoluto. De aquí que el sistema de control exige, para realizar la comparación y corrección, que exista un *dispositivo de medición*, un *dispositivo de control*, un *elemento final de control* y el propio proceso. Estas unidades forman un bucle o lazo llamado Bucle o Lazo de Control, y que puede ser Abierto (cuando la salida no tiene efecto sobre la acción de control) o Cerrado (cuando la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control debido a la Realimentación).

En ambos casos se observa que existen elementos definidos como:

- Elemento de Medida.
- Transmisor.
- Controlador.
- Indicador.
- Registrador.
- Elemento Final, y otros que pueden estar entre estos.

En las figuras 1.1 y 1.2 podemos observar los Diagramas a Bloques de los dos tipos de control.

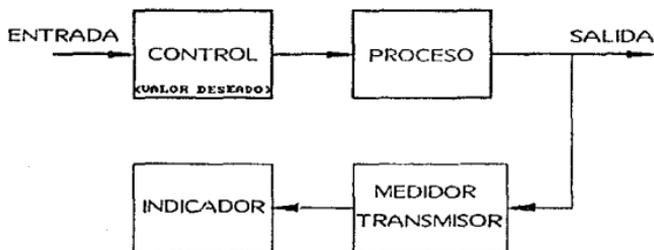


Figura 1.1.- Diagrama General de un Lazo de Control Abierto.

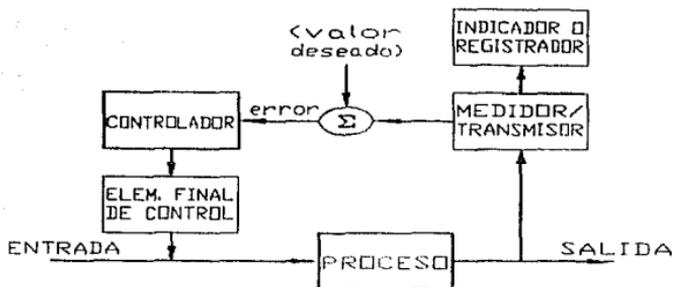


Figura 1.2.- Diagrama General de un Lazo de Control Cerrado.

En la actualidad existen variados y modernos dispositivos electrónicos que podemos utilizar en un sistema como *unidad de control*, entre ellos están los relevadores, contadores y temporizadores eléctricos, controladores analógicos específicos, sistemas de control distribuido, etc., además del llamado *Controlador Lógico Programable* (PLC por sus siglas en inglés).

El Controlador Lógico Programable es un dispositivo de control digital que ha sido optimizado con nuevos componentes electrónicos tales como el microprocesador, que junto con una adelantada circuitería electrónica, hacen ser al PLC una poderosa herramienta de control.

El PLC se diseña para el medio ambiente industrial, o

sea, para operar en forma confiable en medios donde existe ruido eléctrico, altas temperaturas, potencia de CA inestable, además de choques mecánicos.

Para la selección de un dispositivo de control se deben considerar varias características como son:

- Confiabledad.
- Espacio.
- Mantenimiento.
- Flexibilidad.
- Costo.

En los procesos donde existen muchas variables a controlar, los PLC cumplen, al mismo tiempo, con más de las características anteriores, ya que operan con una mayor confiabilidad, requieren de poco espacio para su instalación, son de fácil mantenimiento, además de ser reutilizables y reprogramables para modificaciones en el proceso original, con lo que se logra una gran flexibilidad y versatilidad de este dispositivo.

Con todo esto podemos comprender la marcada preferencia en muchos países, hacia los PLC como Unidad de Control.

**CAPITULO I**

**ESTRUCTURA BASICA DE LOS CONTROLADORES  
LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)**

## ESTRUCTURA BASICA DE LOS PLC

Sin importar la medida, complejidad o costo, todos los PLC contienen la misma arquitectura básica. Además de un sistema de alimentación de energía y un armazón apropiado para el medio ambiente físico y eléctrico de la planta, todos los PLC tendrán lo siguiente:

- Interfaces de Entrada.
- Unidad Procesadora (CPU).
- Sección de Memoria.
- Herramientas de Programación.
- Interfaces de Salida.

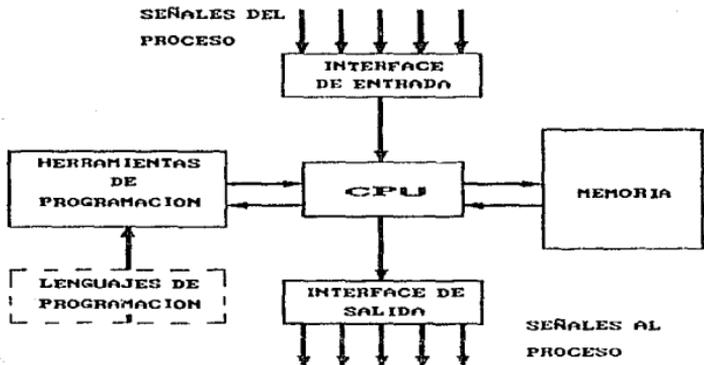


Figura 1.3. Diagrama a Bloques de un PLC.

#### **INTERFACE DE ENTRADA.**

Esta unidad proporciona la conexión con la máquina o el proceso que está siendo controlado. La principal función de ésta interface es la de recibir y convertir señales de campo en señales que puedan ser usadas por la Unidad Central de Proceso (CPU). Se involucra el cierre o apertura de contactos, señales de corriente, voltajes analógicos de proceso convertidos a niveles simples de voltaje que pueden ser entendidos por la CPU.

La interface de entrada es de naturaleza modular y puede ser expandida por la adición de módulos para permitir un mayor número de entradas cuando la labor de control así lo requiera, o si el usuario decide que se necesita mayor información del exterior. Los límites de la expansión estarán dados por la naturaleza de la CPU y de la capacidad de la memoria.

#### **UNIDAD PROCESADORA.**

En un sistema digital la unidad procesadora es el lugar donde se configuran la operaciones del sistema y está compuesta por un número de registros y de funciones digitales que conforman microoperaciones aritméticas, lógicas, de desplazamiento y de transferencia. A ésta unidad, cuando se

complementa con una Unidad de Control que supervisa la secuencia de microoperaciones, se le llama *Unidad Central de Proceso* (CPU). En otras palabras es el "cerebro" que ejecuta todas las decisiones lógicas, operaciones (aritméticas y lógicas) de tratamiento de datos y dirige la utilización de las memorias y de los periféricos por medio de las interfaces.

Como es de esperar, las decisiones lógicas (acciones de control), las realiza en base a la lógica que le proporciona el código del sistema de control o *programa de usuario*.

En los PLC actuales, la CPU también ejecuta autocheques de su operación interna para asegurar máxima confiabilidad de operación.

#### SECCION DE MEMORIA.

Esta sección proporciona el medio para almacenar, en general, cuatro clases de información:

- *Sistema Operativo*: Programa diseñado por el fabricante para proporcionar las rutinas de inicialización y autochequeo, además de responder al programa de aplicación de control trasladando sus requerimientos en instrucciones apropiadas para la acción del PLC.

- *Programa de Aplicación de Control*: Este es el programa escrito por el usuario para controlar su proceso. Este programa puede ser escrito en formato de *Diagramas de Escalera* o algún otro lenguaje de programación que permita el PLC.

- *Tablas de Datos*: Esta área sirve para almacenar constantes de ecuación, valores de restablecimiento de temporizadores o contadores y otras constantes referidas al programa de aplicación. Esta área también contiene registros para los patrones de bits que representan el estado de todos los canales de entrada/salida, por lo que suele llamársele Imagen I/O.

- *Area de Scratch*: Esta área es utilizada para almacenar de manera temporal resultados intermedios y datos transitorios.

Estos grupos funcionales imponen sus requerimientos en el sistema para escoger el tipo de memoria (volátil o no volátil) a utilizar. El sistema operativo es parte integral del controlador por lo que no debe ser afectado bajo pérdidas de energía. Tampoco debe estar accesible para evitar daños por errores del usuario al programar, debido a esto se requiere memoria no volátil. Este tipo de memoria quizás sea inapropiada en algunos casos para programas de aplicación, los cuales deben ser estables mientras están en operación, pero deben estar disponibles para su fácil modificación al momento de revisar el programa o reprogramar al PLC para al-

guna nueva aplicación. El tercer requerimiento es impuesto por las áreas de datos, los dispositivos utilizados deben ser capaces de un rápido acceso para las operaciones de lectura y escritura de datos ya que esto redundará en la velocidad de operación del controlador.

A continuación se dan las propiedades de algunas clases populares de dispositivos de memoria y su empleo recomendado en los PLC.

- RAM: Memoria de Acceso Aleatorio.

El tipo RAM puede ser leída y escrita fácilmente de manera rápida, con un bajo consumo de potencia, además que es de bajo costo. Debido a que es memoria volátil (pierde la información almacenada bajo condición de falla de energía), los PLC cuentan con sistemas de batería de respaldo para evitar la pérdida de la información almacenada. Este es el medio más popular para almacenar programas de aplicación y datos además de ser el único medio práctico para proporcionar el área de scratch.

- ROM: Memoria de Solo Lectura.

Este tipo de memoria es diseñado para proporcionar almacenamiento de programas o datos fijos, los cuales pueden ser leídos pero no modificados. La información almacenada es

determinada por la presencia o ausencia de conexión entre los elementos del circuito. Una vez hecho el patrón de conexión de esos elementos por el fabricante, no se puede cambiar por lo que queda inmune a la pérdida de datos por ruido o falla de energía. Los dispositivos ROM son usados para almacenar al sistema operativo.

- PROM: Memoria Programable de Solo Lectura.

En este tipo de dispositivos, generalmente la memoria está cargada con unos en todas sus localidades, así el usuario aplica pulsos de corriente con lo que se queman las conexiones internas del circuito, produciendo el patrón requerido de unos y ceros. Se requiere de un equipo especial para lograr esta programación la que ya no es modificable en ese dispositivo. Este tipo de memoria es menos usada que la ROM o EPROM.

- EPROM: Memoria de Solo Lectura Programable y Borrable.

Estos dispositivos son programados con equipo especial y son usados para proporcionar almacenamiento de datos a largo tiempo. Tienen la ventaja de poder ser borrados y reprogramados. El dispositivo tiene una pequeña ventana sobre el arreglo de memoria, su exposición a una luz ultravioleta intensa borrará el contenido de la memoria. Los dispositivos

EPROM proporcionan una buena técnica para almacenar programas de aplicación.

Es indispensable que todo microprocesador tenga comunicación directa con las memorias RAM y EPROM para leer y almacenar información tal como instrucciones, datos y direcciones. La información es almacenada en memoria en forma binaria, es decir, como un patrón de cargas (bit) que están organizadas como grupos básicos de trabajo llamados palabras. Cada palabra almacenada en memoria puede ser una instrucción, o parte de una instrucción, o un dato, este último puede ser un dato de referencia o una señal almacenada del proceso que ha sido introducido a través de la interface de entrada. Las palabras pueden ser de varias longitudes como 16 bits, 8 bits o 4 bits, los PLC modernos utilizan la longitud de palabra más común que es de 16 bits, aunque en sistemas pequeños se utilizan todavía registros de 8 bits.

La operación de la CPU y de la memoria de los PLC pueden ser descritas fácilmente como una simple secuencia repetitiva como sigue:

1. Se encarga del proceso que está siendo controlado. Esto es realizado con un examen de la información proveniente de la interface de entrada.
2. Compara esta información con la de control, dada por el

programa que previamente ha sido cargado en la memoria.

3. Decide si es necesaria alguna acción de control.

4. Si esta es necesaria, la ejecuta transmitiendo las señales apropiadas hacia la interface de salida respectiva.

5. Realiza una revisión del sistema interno (*hardware*) para asegurar que la CPU está actuando correctamente, en caso de falla, la CPU se restablecerá y todas las salidas se apagarán; si la revisión se realiza satisfactoriamente, la CPU regresará al primer paso.

El ciclo anterior constituye lo que comúnmente se llama Barrido (SCAN). La operación de barrido da una secuencia definida y fija para las decisiones. Las instrucciones son resueltas en el orden programado. Así, los resultados de una instrucción están internamente disponibles de inmediato para la siguiente instrucción.

#### **HERRAMIENTAS DE PROGRAMACION.**

Las herramientas de programación proporcionan la conexión entre el programa de control, como fué concebido por el diseñador y su representación operacional en la memoria del controlador, o sea, le proporcionan al diseñador una serie

de símbolos necesarios para construir el programa y facilitar tanto la escritura como la edición del programa de control. Las herramientas de programación producen un patrón de señales eléctricas que corresponden a los símbolos, letras o números usados en la versión del programa que está siendo utilizado por el usuario.

En general, los PLC cuentan con varios tipos de herramientas de programación, que son:

*Programador Manual.*

Este programador puede mostrar cualquier información existente permitiendo editarla o corregirla, además de mostrar en pantalla los valores corrientes de cualquier temporizador o contador interno. Este dispositivo es valioso para introducir programas, chequeo del sistema de control y como localizador de fallas.

Una característica importante de este dispositivo es la de que puede o no, estar conectado de manera permanente a la CPU y además puede quitarse sin ocasionar disturbios en la operación de esta. Así, un solo programador puede servir para varias unidades CPU.

### *Programador Portátil.*

Este programador utiliza una pantalla de cristal líquido (LCD) permitiendo una programación lógica en escalera, pudiendo crear nuevos programas introduciendo la lógica y editándola.

Los programadores anteriores tienen una desventaja común, solo pueden mostrar uno o dos escalones de lógica a la vez, esta limitante en la visualización del programa requiere que este sea bien organizado y documentado antes de cargarlo en memoria, acción que se hace bastante tediosa. Situación que se repite al revisar o modificar el programa. Debido a esto, en la actualidad se han desarrollado otros medios de programación.

### *Métodos Alternos de Programación.*

Los PLC actuales cuentan con métodos especiales diseñados para programar, revisar y editar programas de aplicación con ayuda de cualquier computadora personal, incorporando además otras funciones de diagnóstico y edición que hacen más fácil el diseño de programas así como la capacidad de visualización del estado actual del proceso. Este tipo de herramienta de programación proporciona un despliegue más comprensivo del programa del usuario y tiene la capacidad de

funcionar conectado o no al controlador, cuando se tiene esta conexión, se debe contar con limitantes para el acceso a este dispositivo por medio de medidas de restricción como llaves de seguridad, claves personalizadas de acceso, niveles de protección, etc.

La programación con ayuda de una computadora personal hace más accesible y práctica la revisión de programas además de facilitar los métodos para hacer archivos de respaldo e impresiones de los programas de aplicación.

#### **INTERFACE DE SALIDA.**

La interface de salida tiene una función opuesta a la interface de entrada, ya que los circuitos de salida toman señales de la CPU y los transforma en niveles apropiados para manejar las cargas conectadas como son solenoides, relevadores de arranque de motores, pánels de indicación, etc. Igual que la interface de entrada, la interface de salida es de naturaleza modular para poder incorporar funciones de salida adicionales si es que fueran necesarias.

#### **Módulos de Entrada/Salida Analógicos.**

A mediados de la década de los 80s, se introdujeron los módulos de entrada/salida que manejan variables analógicas en rangos comunes (4-20 mA, 0-5 V, 0-10 V, etc). El manejo

de este tipo de señales, junto con la creación de nuevas funciones de las herramientas de programación, permite el control continuo de procesos comunes, como el control de nivel en tanques de almacenamiento, control de presión en tanques o líneas de proceso, control de temperatura, etc.

## CAPITULO II

# INSTRUCCIONES BÁSICAS

## INSTRUCCIONES BASICAS.

La programación consiste en la creación de un programa de aplicación para el PLC. En este capítulo se describe la funcionalidad de las instrucciones de programación más comunes que pueden ser usadas para crear programas en escaleras lógicas en los PLC más populares. En el capítulo 4 se analiza su utilización de manera más formal y con ejemplos.

### Funciones de Relevador.

#### *Contactos.*

Un contacto es usado para monitorear el estado de una referencia. El flujo de energía depende del estado de la referencia que está siendo monitoreada. Se pueden utilizar contactos normalmente abiertos o contactos normalmente cerrados.

#### *Bobinas.*

Las bobinas son usadas para controlar referencias discretas. Se puede utilizar una lógica condicional para controlar el flujo de energía hacia una bobina, las cuales causan una acción en forma directa. Generalmente un escalón puede contener hasta ocho bobinas de salida.

En los PLC actuales se pueden programar varios tipos de bobinas:

- *Bobina Normal*: Lleva una referencia discreta a energizado cuando recibe flujo de energía.
- *Bobina Negada*: Lleva una referencia discreta a energizado cuando no recibe flujo de energía.
- *Bobina de Transición Positiva*: Cuando la bobina reciba flujo de energía su referencia será energizada durante un barrido.
- *Bobina de Transición Negativa*: Si la bobina está recibiendo flujo de energía, en el momento en que se pierda el flujo, su referencia será energizada durante un barrido.
- *Bobina Set/Reset*: Cuando una bobina SET recibe flujo de energía su referencia permanecerá energizada (recibiendo o no flujo) hasta que sea restablecida dirigiendo el flujo hacia una bobina RESET de la misma referencia.

La mayoría de los PLC permite la programación de bobinas retentivas bajo falla de energía, es decir, no pierden su estado de energizado en tal situación.

#### *Líneas de Enlace.*

Las líneas de enlace, horizontal y vertical, son usadas para conectar elementos de una línea de lógica de escalera.

Su propósito es completar el flujo de lógica (energía) de izquierda a derecha en un escalón.

#### *Temporizadores y Contadores.*

Cada temporizador o contador utiliza tres palabras (registros) de memoria para su funcionamiento :

- Habilitador.
- Restablecimiento.
- Valor preseleccionado.

Actualmente el tiempo puede ser contado en décimas o centésimas de segundo y el máximo valor preseleccionado depende de cada fabricante.

Los temporizadores y contadores fueron diseñados para realizar la función de conteo (de tiempo y eventos, respectivamente) de tal forma que podamos condicionar la energización o desenergización de alguna referencia en base a un tiempo requerido o a una determinada repetición de acciones.

En la figura siguiente se explica su funcionamiento con diagramas de tiempo:

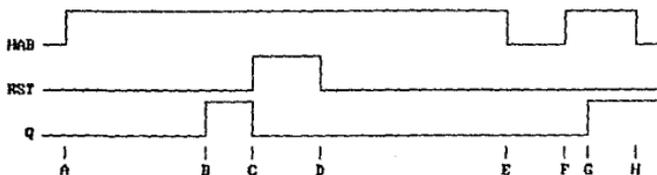


Figura 2.1.- Funcionamiento de un temporizador.

A - El habilitador (HAB) va a alto; el temporizador inicia la acumulación de tiempo.

B - El valor corriente alcanza al valor preseleccionado; la salida Q va a alto.

C - La señal de restablecimiento (RST) va a alto; Q va a bajo, el tiempo acumulado es restablecido.

D - RST va a bajo; el temporizador reinicia su acumulación de tiempo.

E - HAB va a bajo; el temporizador detiene su acumulación. Su valor corriente permanece igual.

F - HAB regresa a alto; el temporizador continúa con la acumulación de tiempo, desde el valor alcanzado en E.

G - El valor corriente alcanza al valor preseleccionado; Q va a alto. El temporizador continúa acumulando tiempo hasta que HAB vaya a bajo, RST vaya a alto o el valor corriente iguale el máximo valor programable.

H - Igual a E.

Los contadores funcionan de manera similar, solo que su valor corriente se incrementa a cada transición de **apagado a encendido** de la entrada de habilitación (HAB).

#### Instrucciones de Operación de Datos.

Este tipo de instrucciones son básicamente las que le dan al PLC las cualidades para comportarse como un sistema de control por computadora. Esta característica da un grado mayor de eficiencia en aplicaciones de control de procesos que un sistema de control por relevadores nunca logrará.

Estas instrucciones incluyen *movimiento de datos, funciones matemáticas, operaciones lógicas, de conversión*, entre otras, que dependerán de la disponibilidad que ofrezca cada fabricante, por lo que su programación será específica para cada modelo y marca de PLC.

Las funciones matemáticas son básicamente: suma, resta, multiplicación y división. Algunas marcas ofrecen raíz cuadrada.

Las funciones lógicas son AND, OR, XOR, NOT.

Las funciones de movimiento de datos sirven para transferir el contenido de un registro a otro, realizar la fun-

ción de registro de corrimiento, etc.

Las funciones de conversión básicamente permiten el cambio de sistema binario a código BCD y viceversa.

#### **Variedad de Entradas/Salidas.**

La gran mayoría de fabricantes de PLCs ofrecen la opción de módulos de Entrada/Salida analógicos, los que combinados con el desarrollo de *funciones de control PID*, incluidas en sus posibilidades de programación, nos dan las herramientas necesarias, junto con las *instrucciones de operación de datos*, para lograr aplicaciones en procesos más complejos, donde por ejemplo intervengan la temperatura, el flujo, la presión o nivel.

En otras áreas de aplicación, el *lazo de control PID* también proporciona control de movimiento avanzado para uso en robótica.

Por lo general, se proporciona la función de control PID completa, y los componentes individuales Proporcional, Integral y Derivativo pueden desactivarse a través de sus parámetros correspondientes, es decir, se igualan a cero las palabras de datos afectados. Esto permite realizar fácilmente cualquier estructura de control deseado, por ejemplo, controlador PI, controlador PD o controlador PID.

En el Apéndice B se proporciona un condensado de instrucciones (por funcionalidad) disponibles en los PLC GE Fanuc Serie 90-30, la cual es la familia de PLCs desarrollada por General Electric para la década de los 90s.

## CAPITULO III

# INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN

## INTRODUCCION A LA PROGRAMACION.

### *Principio de operación del PLC.*

La operación básica de todo controlador lógico es la llamada función de *barrido* (SCAN).

Existen cientos de decisiones a desarrollar por un programa, y la CPU no las realiza todas ellas simultáneamente, sino una por una, sin embargo, la velocidad a la que ejecuta el programa aparenta que lo hace simultáneamente.

El término de barrido es un método para explicar como realiza la CPU sus funciones asignadas. Comienza por ejecutar la primera instrucción del programa en la localidad cero de la memoria siguiendo en forma secuencial hasta la última dirección existente o hasta el final del programa del usuario. Continúa después enviando datos a los módulos de salida y obteniendo datos de los módulos de entrada. Luego, si el programador está conectado o cualquier periférico, es atendido haciendo cambios o actualizando su desplegado. Después de atender al periférico, realiza un chequeo del sistema, si todo se encuentra en orden, la CPU regresará al principio del barrido. La operación de barrido es una secuencia definida y fija para la toma de decisiones. Las instrucciones son resueltas en el orden programado. Así, los

resultados de una instrucción están internamente disponibles de inmediato para la siguiente instrucción.

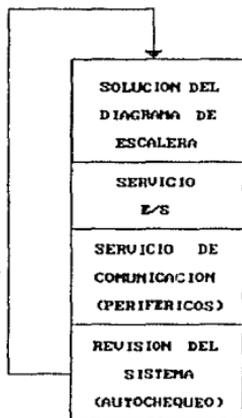


Figura 3.1.- Diagrama del Ciclo de Barrido en los PLC.

#### Significado de las Referencias.

Cuando introducimos un programa en cualquier PLC, cada elemento debe ser acompañado por números de referencia, las cuales ayudan a la CPU a reconocer qué función está siendo especificada. Por ejemplo qué botón controla el arranque de un motor. Qué temporizador da el permiso de inicio de alguna secuencia, etc. Los números de referencia son una par-

te vital en la programación. Cada fabricante tiene su forma particular de identificación y manejo de referencias para sus módulos de entrada/salida, pero por lo general, cualquiera de ellas se puede utilizar como contacto tantas veces como sea necesario. Cualquier referencia puede verse como un relevador controlando muchos polos teniendo tantos contactos normalmente abiertos como normalmente cerrados que operan sin retraso de tiempo, desde el polo 1 hasta el polo 1000.

En este capítulo analizaremos la base de funcionamiento de las herramientas de programación en los PLC modernos, las cuales son creadas para trabajar en cualquier computadora personal con un mínimo de requerimientos de sistema (memoria RAM, capacidad en disco duro, coprocesador, etc.). Esos programas, además de permitir el diseño, edición y documentación de programas de usuario para aplicaciones particulares, establecen comunicación entre la computadora y el PLC, con lo que se logra una buena ayuda para realizar mantenimiento al sistema, simulación de programas, diagnósticos de fallas, etc.

Normalmente, las herramientas de programación presentan una serie de pantallas, a base de menues, formados por una lista de comandos o acciones disponibles que el usuario puede utilizar con diferentes fines. Se utiliza mucho la redefinición de teclas para realizar funciones específicas

de tal forma que entradas inapropiadas o inválidas son detectadas y rechazadas (en ocasiones con tonos de alerta). Una entrada válida es guardada hasta que una tecla especial indica que la palabra de programa está completa. Aquí se envía el dato a la CPU, en donde se revisa esta información, si se aprueba entonces se escribe en una localidad de memoria apropiada, enviando entonces una indicación al usuario de que puede continuar introduciendo datos.

La principal ventaja de la programación de PLC por medio de una computadora es la forma en que se maneja la información, además de cómo se despliega. Por otro lado, la mayoría de los fabricantes proporcionan diferentes funciones de diagnóstico para agilizar la localización de fallas en el sistema.

En cuanto al manejo de información, este tipo de herramientas de programación permite el despliegue y el análisis, en forma dinámica, del contenido de cualquier localidad de memoria y como el programa se muestra en formato de diagramas de escalera, también es posible examinar el estado de cualquier elemento del programa, además de haber funciones que permiten forzar la energización o desenergización de salidas, con fines de simulación, prueba y optimización de programas junto con sus lazos de control. Este tipo de funciones requieren de la comunicación directa entre la

computadora y el PLC, lo que es identificado como *programación en línea*. Las funciones de diseño, edición y documentación no requieren de esa comunicación, por lo que se le nombra *programación fuera de línea*, característica importante cuando es deseable mantener la producción durante la adición de nueva lógica o la optimización de un programa de usuario ya existente.

En lo referente a seguridad, las herramientas de programación deben contar con funciones de límite de acceso mediante el uso de niveles, de tal forma que para acceder un determinado nivel, se precise de una llave especial dada por una palabra clave (*password*). Esto es requerido para evitar que personal no autorizado pueda modificar o provocar fallas en el programa de usuario.

Como ya se mencionó antes, el diseño, edición y monitoreo de programas son de bastante ayuda debido a su capacidad de presentación a pantalla completa, con despliegue, en tiempo real, del estado de cada elemento de programa. El contenido de los registros se puede analizar en una variedad de formatos que facilitan una mejor comprensión de la información solicitada.

Por la posibilidad de uso de la memoria de la computadora, se pueden incluir todas las etiquetas y comentarios que sean necesarios para una correcta interpretación del

programa de usuario así como generar listas de referencia cruzada, que constituyen una información bastante útil para la comprensión de la lógica del programa y su relación con el proceso que se está controlando. La capacidad de imprimir esos tipos de información resuelve el problema de la documentación del sistema para revisiones posteriores o cambios en el proceso. Cabe mencionar que los fabricantes ofrecen herramientas de programación que prestan estos servicios, o sea, terminales de uso específico, que solo sirven mientras están conectadas al PLC. Si no se tiene esta conexión no son útiles. Debido a esto, en este capítulo nos enfocamos más a las herramientas de programación en base a computadoras personales, las que además de dar servicio al PLC pueden ser utilizadas en cualquier otra cosa.

En cuanto a las comunicaciones del PLC, muchos de los sistemas tienen la capacidad de conectarse a una red de área local de PLCs, lo que permite programar cambios en otras unidades o desplegar el estado de la totalidad de la planta. Además, si el protocolo de comunicación lo permite, se puede establecer contacto con sistemas de control distribuido para su función conjunta en el proceso.

Las herramientas de programación inteligentes normalmente deben tener como mínimo, las dos características siguientes:

- La interacción del usuario con la herramienta de programación debe realizarse por selecciones iniciales hechas a través de una serie de menues. Cada menú, como aparece en pantalla, seleccionará una serie de comandos u operaciones particulares, después de seleccionar alguno de estos se llegará a un despliegue final que proporcione la acción particular requerida. Por ejemplo, queremos programar el siguiente escalón de lógica:

```
SW1                                OUT1  
!---] [------( )-!
```

Normalmente iniciamos en un menú principal, de donde nos podemos dirigir hacia acciones de documentación, acciones de edición de archivos o programas ya existentes, acciones para crear nuevos programas; obviamente debemos seleccionar estas últimas para el fin del ejemplo. Después de esta selección, se despliega otro nuevo menú, el cual contendrá las funciones para seleccionar los elementos requeridos en el escalón de lógica, en este caso un contacto normalmente abierto y una bobina de salida; después de formado el escalón se introduce la orden de aceptación, si no hay errores, el cursor se posicionará en el lugar adecuado para introducir más lógica, si ya no se desea más, regresamos al menú principal y seleccionamos las acciones que permiten el almacenamiento permanente (en forma de archivo) del programa creado, que hasta este momento solo se encuentra almacenado en la memoria volátil de la computadora.

- Las acciones específicas como la programación de un contacto, son normalmente hechas con el uso de teclas especiales definidas para este propósito. Las funciones de estas teclas pueden ser redefinidas para que el usuario pase de una función de programación a otra. Por ejemplo, en el menú principal como se mencionó antes, tendremos, entre otras, acciones de documentación, acciones de edición, etc., suponemos que se define aquí la tecla de función F1 para seleccionar acciones de documentación; a la tecla F2 para acciones de carga de archivos y la tecla F3 para acciones de edición, si requerimos editar un programa ya cargado en la memoria de la computadora, seleccionamos F3 (acciones de edición); esto nos llevará a otra pantalla con un menú diferente, que esta formado de comandos para insertar contactos, temporizadores, etc., comandos para borrar o insertar elementos. Aquí las teclas de función F1, F2 y F3 ya estarán redefinidas, de tal forma que F1 ahora sirva para insertar un escalón; F2 para borrar un elemento; F3 para programar un contacto, etc., esta nueva definición permanecerá mientras permanezcamos en edición, ya que si salimos de este modo regresando al menú principal, las teclas de función volverán a ser las originales (selección de acciones).

Para poder calificar las herramientas de programación en cuanto a calidad, debemos considerar varias características:

- Arreglo fundamental de programación, edición y operación de registros.
- Filosofía de presentación (menús y redefinición de teclas).
- Capacidad de documentación, impresión y creación de respaldos de programas.
- Capacidad de comunicación (protocolos comunes en la industria).

Por todo lo anterior, los programadores manuales son más usados en situaciones de localización de fallas o prueba en campo de lazos de control, aunque también están siendo reducidos por la llegada de nuevas herramientas de programación, como minicomputadoras que se pueden situar en una red y examinar la totalidad de los PLCs conectados a esta de manera remota. Estas minicomputadoras tienden a ser universales, de tal forma que se puedan comunicar con PLCs de diversos tipos y marcas. Todo para facilitar el entendimiento y manejo de los Controladores Lógicos Programables.

## CAPITULO IV

# DIAGRAMAS DE ESCALERA

## DIAGRAMAS DE ESCALERA

### Introducción.

La programación en lógica de escalera usa dos grupos generales de elementos, los cuales pueden ser identificados como instrucciones de lógica de relevador e instrucciones de transformación de datos.

La puesta de instrucciones de lógica de relevador refleja la capacidad de la programación en escalera de los PLC para reemplazar esquemas de control, diseñados originalmente para circuitos de relevador.

Las instrucciones de transformación de datos enfatizan el poder de este tipo de programación, ya que introduce las características de computadora con que cuentan los PLC para los esquemas de control. Son precisamente las instrucciones de transformación de datos las que extienden la capacidad de los PLC para ir más allá de una simple sustitución por un sistema de relevador ya que proporciona versatilidad extra necesaria para funcionar como un controlador de procesos completo y eficaz.

Los diagramas de escalera son una representación dinámica de un sistema real de operación, en donde se muestran

los contactos de relevador, las bobinas, los contadores, los temporizadores, etc., además del flujo de energía por las interconexiones de los elementos. De acuerdo a esto podemos decir que los diagramas de escalera son una forma de despliegue gráfico de las ecuaciones booleanas, mostrando las entradas, los controles y las salidas de un sistema específico.

#### Formato Básico de los Diagramas de Escalera.

En la figura 4.1 se muestra un diagrama de escalera típico. En los extremos se tienen dos buses energizados, izquierdo y derecho. Los contactos están situados en líneas horizontales, hileras o renglones. Se pueden conectar líneas adyacentes entre contactos mediante una línea vertical para permitir, ya sea una ramificación de flujo de energía o bien, para que la lógica sea resuelta en paralelo.

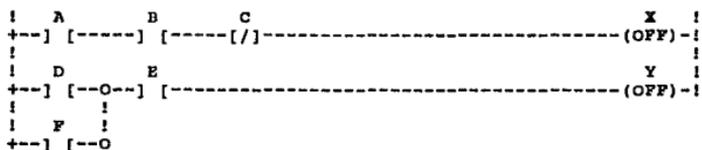


Figura 4.1. Diagrama de Escalera Típico.

En la mayoría de los PLC existentes en el mercado se

tiene un límite práctico para una programación simple y documentada del sistema. Se recomienda que las líneas horizontales se limiten a un máximo de nueve contactos y una bobina de salida y a siete ramificaciones verticales o renglones para cada ecuación de control.

Como se observa en la figura 4.1, las ecuaciones en diagramas de escalera consisten en una serie de símbolos preestablecidos que definen una función de control en un sistema dado. Los símbolos utilizados por la marca Bendix se muestran en la figura 4.2 junto a su definición.

|           |  |
|-----------|--|
| --[ ]--   | Contacto normalmente cerrado. Abierto. |
| --] [--   | Contacto normalmente abierto. Abierto. |
| --[/]--   | Contacto normalmente cerrado. Cerrado. |
| --]/[--   | Contacto normalmente abierto. Cerrado. |
| --(OFF)-- | Bobina de salida. Apagada.             |
| ==(ON)==  | Bobina de salida. Encendida.           |
| =====     | Flujo horizontal de energía.           |
| -----     | Interconexión entre elementos.         |
| ---+---   |  |
|           |  |
| !         |  |
| +---      | Ramificación de Flujo.                 |
| ---o---   |  |
|           |  |
| !         |  |
| ---o---   | Ramificación para función OR.          |

```

*****
hab.---* nombre *---salida
      * dirección*
rst ---*         *           Temporizador/Contador.
      * cuenta  *
clk ---* setpoint*
*****

```

Figura 4.2. Símbolos Básicos de Diagramas de Escalera.

#### Concepto de Flujo de Energía.

El flujo de energía es un término conceptual usado para visualizar la operación de las bobinas, los temporizadores, los contadores, etc. Con referencia a la figura 4.1 el bus energizado izquierdo puede ser visto como *vivo* (conectado a 115 Vac ó +24 Vcd) mientras que el bus derecho es asociado como *neutral* (conectado a 115 Vac ó 0 Vcd). Las bobinas de salida (i.e. X y Y) podrán energizarse sólo si hay una trayectoria cerrada para el flujo de energía desde la izquierda hasta las bobinas, situando al potencial completo a través de estas. En caso de no haber flujo de energía, la bobina permanecerá desenergizada.

Tenemos entonces que la energía siempre fluye de izquierda a derecha, pasando a través de contactos normalmente abiertos sólo si sus referencias están energizadas, o de contactos normalmente cerrados, si sus referencias están desenergizadas.

El flujo de energía también es permitido en forma vertical hacia arriba o hacia abajo entre líneas adyacentes cuando son programadas conexiones en paralelo. Sin embargo, la energía no puede fluir de derecha a izquierda en cualquier tiempo a través de contactos o derivaciones horizontales. Esta característica simplifica la programación y previene de trayectorias furtivas no deseadas.

#### **Reglas Generales para Diagramas de Escalera.**

Ya se ha dicho que los diagramas de escalera son una representación gráfica de las ecuaciones booleanas donde se visualiza, de manera fácil y rápida, los estados actuales de las funciones, o sea, las condiciones en que se encuentran las entradas/salidas, temporizadores, contadores, etc., de las ecuaciones que forman el programa de aplicación.

Existen ciertas reglas generales aplicables a la programación en diagramas de escalera, las cuales adoptan la lógica dada por el concepto de flujo de energía. Estas reglas son:

1. Una ecuación es resuelta columna por columna, comenzando por la posición más hacia la izquierda. Así, si un contacto es usado desde una bobina en la misma ecuación, el estado del contacto en dicha ecuación será el estado de la bobina

en el barrido anterior. Se debe tener esto en cuenta durante el diseño del programa para prevenir condiciones inestables de control como embalamientos cuando se controlan motores eléctricos en su fase de arranque. Por ejemplo, en el cir-  
cuito sello de la figura 4.3 tendremos que el contacto C del segundo escalón, se cerrará un barrido después de que el contacto A sea energizado.

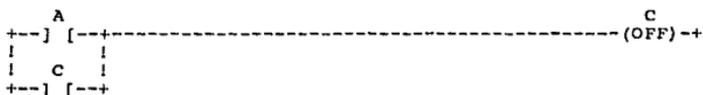


Figura 4.3. Ejemplo de Circuito Sello.

2. El barrido y resolución de las ecuaciones es realizado en orden secuencial, comenzando desde la ecuación de número de identificación menor hasta la ecuación de número de identificación mayor. Así, los estados resultantes de una ecuación de número de identificación menor puede ser inmediatamente utilizada en cualquier ecuación de número mayor. Al final del programa, el barrido es repetido con los estados resultantes almacenados del barrido previo. Lo anterior debe ser tomado en cuenta mientras se escribe un programa, ya que la colocación de la ecuación puede ser crítica.

3. El flujo de energía dentro de una ecuación es siempre de izquierda a derecha. El flujo de derecha a izquierda no está permitido.

4. En los diagramas de escalera, las líneas de interconexión horizontal ejecutan la función booleana AND. Todos los contactos en conexión serie (A y B) deben estar cerrados para energizar la salida C (ver figura 4.3).



Figura 4.4. Función Booleana AND.

6. Las líneas de interconexión vertical pueden ser utilizadas para ejecutar la función booleana OR, con la que debe haber, cuando menos, un contacto o rama cerrada, de los conectados en paralelo (A o B), para que haya flujo de energía hacia el elemento siguiente (ver figura 4.4). A y B pueden ser bloques de contactos.

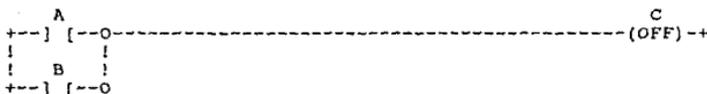


Figura 4.5. Función Booleana OR.

7. Las líneas verticales también pueden ser utilizadas para trasladar (duplicar, triplicar, etc.) una condición de flujo de energía de una rama a otra. Esto permite a un resultado ser situado hacia varias salidas (ver figura 4.5).

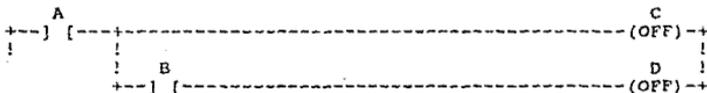


Figura 4.6. Bifurcación de Flujo de Energía.

8. Cada elemento de lógica (contacto, bobina de salida, temporizador, etc.) tiene asociado a él un nombre y un número de referencia únicos. Esto con el fin de que la CPU los identifique y los controle, además que permite al usuario un correcto alambrado del sistema y una documentación adecuada del mismo.

Es importante conocer el funcionamiento de cada elemento de lógica que puede ser utilizado en los diagramas de escalera, para así tener una visión amplia sobre los elementos que podemos interconectar y de cómo debemos hacerlo para lograr que una determinada lógica de control sea realizada de manera eficaz.

En lo que resta del capítulo, se describen las bases del funcionamiento de los elementos de lógica utilizados con mayor frecuencia en los diagramas de escalera, con lo que se pretende dar una mayor y mejor comprensión de la potencialidad de uso de los PLC.

#### **CONTACTOS.**

Los contactos son utilizados para permitir o cortar el flujo de energía entre el bus energizado izquierdo y cualquier otro elemento hacia la derecha. Los contactos pueden ser normalmente cerrados o normalmente abiertos.

a) *Contacto normalmente cerrado (N.C.)*. Este tipo de contac-

to permite el flujo de energía a través de él, sólo si su referencia es desenergizada, ya que cuando esta se encuentra energizada el contacto se abre, impidiendo el paso del flujo al siguiente elemento del escalón lógico.

b) *Contacto normalmente abierto (N.A.)*. Este tipo de contacto funciona de manera inversa al anterior, ya que sólo permite el paso del flujo a través de él cuando su referencia se encuentra energizada, en caso contrario permanece abierto sin permitir paso del flujo hacia el siguiente elemento.

De lo anterior se deduce que podemos utilizar contactos en un diagrama de escalera para condicionar el flujo de energía en un escalón de lógica escogiendo el tipo de contacto adecuado para lograr las combinaciones de estados (abierto o cerrado) requeridas para energizar, ya sea una bobina de salida, un temporizador, etc.

#### Criterio de aplicación.

Los contactos son utilizados en la construcción de bloques básicos que permiten programar circuitos sencillos de control discreto usados en sistemas simples de entradas/salidas. Estos circuitos de control permiten reemplazar funciones de relevadores comunes aplicándose como control de



$$+--] \overset{2}{[-----]} \overset{3}{[-----]} \overset{22}{(OFF)}--+$$

Figura 4.9. Solución del problema 4.3.

4.4. La salida 23 sólo se energiza cuando cualquiera de las entradas 4 ó 5 estén encendidas.

$$+--] \overset{4}{[--O-----]} \overset{23}{(OFF)}--+$$

$$! \quad !$$

$$! \quad 5 \quad !$$

$$+--] [--O$$

Figura 4.10. Solución del problema 4.4.

4.5. Las salidas 24 y 25 se energizan sólo cuando la entrada 6 está encendida.

$$+--] \overset{6}{[---+-----]} \overset{24}{(OFF)}--+$$

$$! \quad !$$

$$\quad \quad !$$

$$\quad \quad +----- \overset{25}{(OFF)}--+$$

Figura 4.11. Solución del problema 4.5.

4.6. La salida 26 se energiza sólo cuando las entradas 7 y 8 están apagadas.

$$+--[//]---[//]----- \overset{26}{(ON)}--+$$

Figura 4.12. Solución del problema 4.6.

4.7. La salida 27 se desenergiza sólo cuando la salida 26 (del problema 4.6) está encendida.

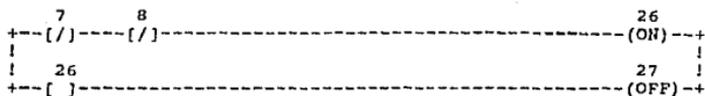


Figura 4.13. Solución del problema 4.7.

4.8. Diseñar un circuito sello para simular el circuito de la figura 4.14; use la entrada 10 para PB1, la entrada 11 para PB2 y la salida 30 para SOL 5.

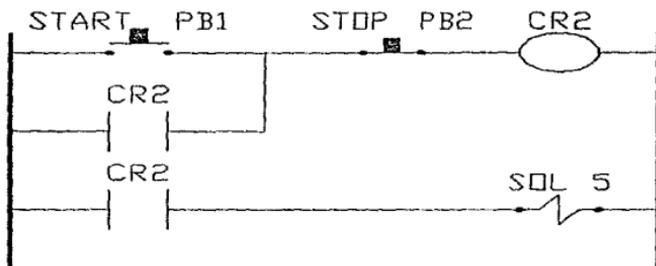


Figura 4.14. Diagrama de Escalera del Circuito Sello.

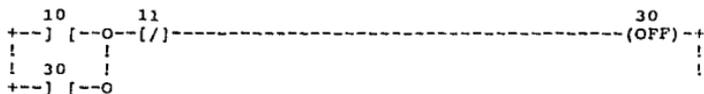


Figura 4.15. Solución del problema 4.8.

4.9. Diseñar un circuito sello para simular el siguiente diagrama de control por relevadores:

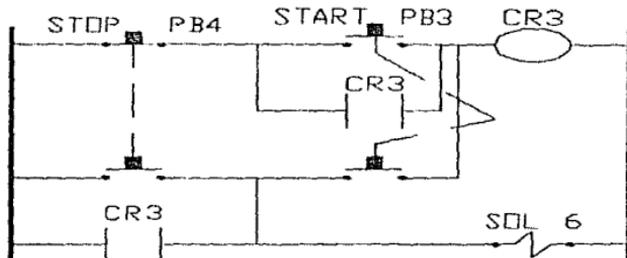


Figura 4.16. Diagrama de Escalera del problema 4.9.

Use la entrada 12 para PB3, la entrada 13 para PB4 y la salida 31 para SOL6.

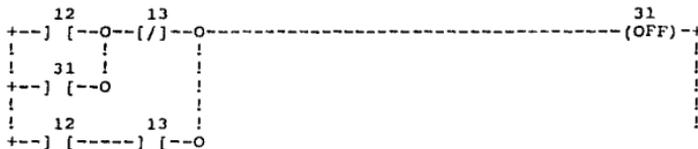


Figura 4.17. Solución del problema 4.9.

4.10. Idear un circuito que causará que la salida 24 se energice para un barrido, después que se desenergice para un barrido y así sucesivamente en forma continua.



Figura 4.18. Solución del problema 4.10.

4.11. Diseñar un circuito que haga que la salida 35 se e-

nergice cuando la entrada 6 es encendida la primera vez y se desenergice cuando la entrada 6 se energice la segunda vez. Este proceso se deberá repetir cada vez que la entrada 6 se cambie de encendido a apagado, de encendido a apagado, etc.

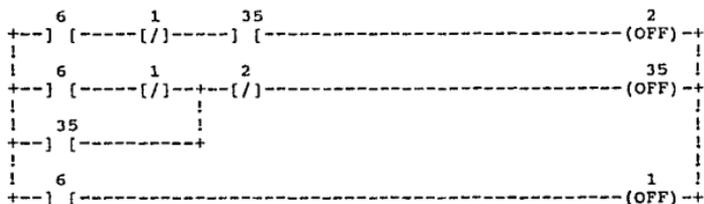


Figura 4.19. Solución del problema 4.15.

## TEMPORIZADORES.

En el sistema Bendix, esta función permite que al activar un permisivo se energice una salida después de un tiempo requerido. La función de temporizador consta de tres escalones de lógica, como se ve en la siguiente figura:

```
*****
hab.---* nombre  *---salida
      * dirección*
rst ---*         *
      * cuenta   *
clk  ---* setpoint*
*****
```

Figura 4.20. Símbolo del Temporizador/Contador.

El primer escalón finaliza con una rama de flujo activada después de un tiempo preestablecido de N segundos dado en el setpoint. El segundo escalón es la señal de restablecimiento, utilizada para inicializar al temporizador.

Como el principio del funcionamiento de un temporizador es el de un contador, el tercer escalón es la señal de reloj con la que se controla la base de tiempo a utilizar por el temporizador (con este arreglo se puede controlar interna o externamente). Cada pulso de la señal de reloj provocará un incremento en el valor de la cuenta y, cuando la diferencia entre cuenta y setpoint sea cero, se permitirá flujo de energía por la rama de salida para controlar cualquier lógica posterior como energizar una salida, arrancar otro temporizador, etc.

Cada fabricante proporcionará el rango en el que se podrán programar los temporizadores en su PLC.

Criterio de aplicación.

El uso de temporizadores permite programar funciones comunes de tiempo, usadas para poner retrazos en las funciones de control. Las funciones de tiempo también permiten construir funciones de control más complejas tales como circuitos secuenciadores manejados en tiempo, circuitos registro de reloj de corrimiento y circuitos generadores de forma de onda.

EJEMPLOS.

Como ya se dijo, una de las principales funciones de los temporizadores es la de controlar, en tiempo, el estado (encendido o apagado) de una bobina de salida, como se muestra en el siguiente ejemplo.

```

0          *****
+---) [---+---C          *-----20
!          ! * TU001 *          (OFF)---+
!          ! *          *
!          ! *          *
!          +---O=R 00.0 *
!          *          *
! CLK * 00:03:0 *
+---) [-----C          *
          *****

```

Figura 4.21. Ejemplo de Temporizador con Retrazo.

Al programar el circuito anterior se puede verificar

que el temporizador dejará de contar tres segundos después de que el contacto 0 haya sido energizado, en ese tiempo la salida 20 será energizada. Este circuito es comunmente llamado *temporizador con retraso* debido a que existe un tiempo desde el momento en que la entrada 0 se enciende y que la salida 20 se energiza. Podemos programar un diagrama de escalera para un *temporizador sin retraso*, que es, la salida ya está energizada cuando la entrada es encendida y después de tres segundos la salida se apaga, la solución se logra con un temporizador de cuenta abajo como sigue:

```

      0          *****                                20
+--] [---C      *-----]------(OFF)-+
!      ! * TD002 *
!      ! *      *
!      +--C=P 00.0 *
!      *      *
! CLK      * 00:03:0 *
+--] [----C      *
      *****

```

Figura 4.22. Ejemplo de Temporizador sin Retrazo.

Hasta aquí hemos trabajado con la simbología para temporizadores utilizada por los PLC de la marca Bendix, y debemos aclarar que cada marca tiene su propia simbología para la representación de los elementos lógicos y de sus funciones. En los PLC de la marca GE Fanuc los temporizadores son más simples, como se muestra en la figuras siguientes, donde se representan los dos temporizadores anteriores:

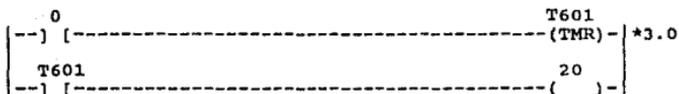


Figura 4.23. Ejemplo de un Temporizador con Retrazo.



Figura 4.24. Ejemplo de un Temporizador sin Retrazo.

En este caso el funcionamiento es similar, aunque más simple, ya que cuando el temporizador 601 recibe flujo de energía inicia la cuenta de tiempo hasta el valor programado (la señal de reloj está en base a un reloj interno del PLC), cuando no se recibe flujo, el temporizador se restablece.

En los ejemplos que siguen, se utiliza esta simbología por su simplicidad de representación y entendimiento.

4.12. Describa el funcionamiento del siguiente diagrama de escalera.

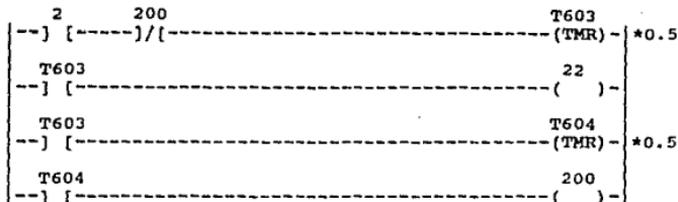


Figura 4.25. Ejemplo de circuito con Temporizadores.

Tenemos que ambos temporizadores están inicialmente restablecidos cuando la entrada 2 está en apagado, por lo que el contacto normalmente cerrado 200 está cerrado. Cuando la entrada 2 se enciende, el temporizador 603 cuenta 0.5 segundos, al término de este tiempo la salida 22 se enciende y el temporizador 604 comienza a contar también 0.5 segundos. Al cubrir este tiempo, el contacto del temporizador 604 del siguiente escalón se cierra energizando a la bobina interna 200. En el siguiente barrido, el contacto 200 normalmente cerrado del primer escalón se abre, restableciendo al temporizador 603, los contactos T603 se abren apagando a la salida 22 y restableciendo al temporizador 604. El contacto T604 se abre desenergizando a la bobina interna 200, el contacto 200 normalmente cerrado del primer escalón se cierra y la secuencia comienza de nuevo (mientras la entrada 2 esté energizada).

4.13. Construya un diagrama de escalera que cause que la salida 23 alterne con la salida 24 a razón de 0.5 segundos. (La salida 23 está encendida por 0.5 segundos estando apagada la salida 24 en ese tiempo, después la salida 24 se energiza durante medio segundo mientras que la salida 23 permanece apagada). El proceso deberá continuar repetidamente tanto tiempo como la entrada 3 esté encendida.

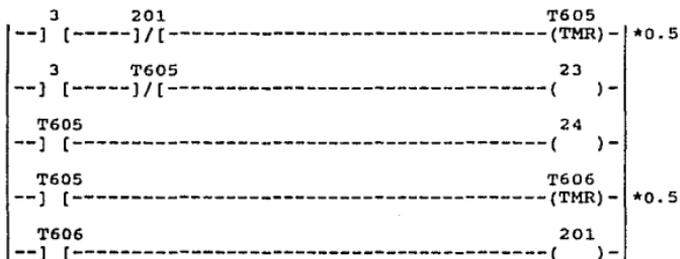


Figura 4.26. Solución del problema 4.13.

En este ejemplo utilizamos al temporizador 605 bajo las dos configuraciones básicas, sin retraso para la salida 23 y con retraso para la salida 24. Además, para lograr la repetición del ciclo, se tiene lógica de contactos para que cada temporizador restablezca al otro y así puedan seguir contando mientras la entrada 3 esté energizada.

4.14. Desarrollar un diagrama de escalera que cumpla con las siguientes condiciones:

i) En el instante que la entrada 5 vaya de apagado a encendido, la salida 26 deberá permanecer apagada durante 3 segundos, después encenderse por cuatro décimas de segundo, después apagarse por 3.5 segundos, después regresa a encendido por un segundo y después se apaga.

ii) En el instante que la entrada 5 vaya de encendido a apagado, fin de condición (i), la salida 26 deberá permanecer encendida por dos segundos, después apagarse por cinco décimas de segundo para después encenderse por tres segundos, después vuelve a apagarse por un segundo y luego se enciende.

iii) Si la entrada 5 va de apagado a encendido, la condición i deberá interrumpir la condición ii inmediatamente. Si la entrada 5 va de encendido a apagado, la condición ii deberá interrumpir la condición i inmediatamente.

La solución a este problema se da en la figura 4.28, damos un gráfico de estados o niveles con respecto al tiempo (figura 4.27), lo cual se hace en un inicio para ayudar a resolver el problema.

Observando la figura 4.27 obtenemos las siguientes conclusiones para la condición i:

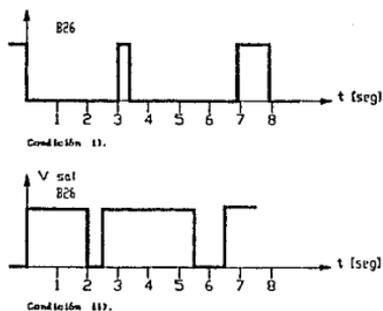


Figura 4.27. Gráfico de Niveles.

- a). Requerimos de 4 temporizadores en cascada (T607, T610, T611, T612).
- b). En la lógica de control, los contactos de los temporizadores T607 y T611 deben ser normalmente abiertos, ya que controlarán la energización de la salida.
- c). Los contactos de los temporizadores T610 y T612 deben ser normalmente cerrados.
- d). Por la programación en cascada de los temporizadores, los contactos normalmente cerrados (relacionados con temporizadores) permiten su colocación en la misma trayectoria (rama) del anterior, mientras que contactos normalmente

abiertos obligan otra trayectoria de flujo en paralelo.

e). La relación entre la entrada 5 y la salida 26 es directa.

Analizando el problema a la inversa tenemos la colocación directa del contacto T612:

$$\begin{array}{c} T612 \quad 26 \\ \text{---}]/[ \text{-----}(\quad )-\text{|} \end{array}$$

De la observación anterior, podemos colocar en serie al contacto T611:

$$\begin{array}{c} T611 \quad T612 \quad 26 \\ \text{---}]/[ \text{-----}]/[ \text{-----}(\quad )-\text{|} \end{array}$$

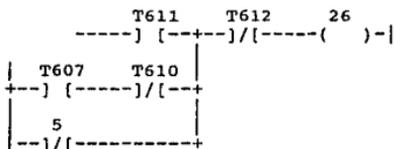
Debido a que utilizamos un contacto normalmente abierto, nos obliga a dibujar otra trayectoria de flujo para T610:

$$\begin{array}{c} T611 \quad T612 \quad 26 \\ \text{---}]/[ \text{---+---}]/[ \text{-----}(\quad )-\text{|} \\ T610 \quad | \\ \text{---}]/[ \text{---+} \end{array}$$

De igual manera que T612, T610 permite programar en serie al contacto T607:

$$\begin{array}{c} T611 \quad T612 \quad 26 \\ \text{-----}]/[ \text{---+---}]/[ \text{-----}(\quad )-\text{|} \\ | \quad T607 \quad T610 \quad | \\ \text{+---}]/[ \text{-----}]/[ \text{---+} \end{array}$$

Con respecto a la entrada 5 (invertida con respecto a la salida 26) y por la observación anterior tenemos la lógica final de control para la condición i:



Con un análisis semejante se puede deducir la lógica de control para la condición ii, la solución completa se da en la figura 4.28, donde podemos observar el uso de bobinas internas conectadas en OR y controlando el estado de la salida 26.

Para revisar que el diagrama siguiente en realidad efectúa las condiciones dadas, los estados de los contactos, temporizadores y salidas se revisan respetando el estado actual en cada barrido, que es como en realidad lo hace el PLC (ver reglas generales para diagramas de escalera).

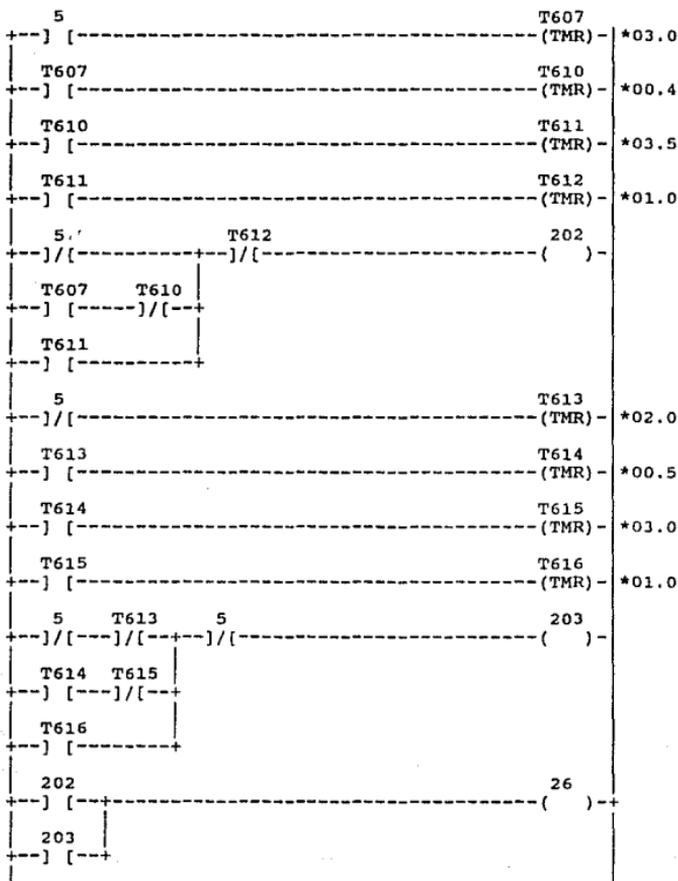


Figura 4.28. Diagrama de escalera del problema 4.14.

## CONTADORES.

Esta función permite contar eventos o pulsos que se presenten en su entrada y activar su salida cuando la cuenta llegue a un valor preestablecido. Los contadores operan en forma similar a los temporizadores, como ya lo habíamos mencionado antes, solo que para la representación adoptada (PLC GE Fanuc Serie Uno Plus) necesitan dos escalones de lógica de relevador para controlar su operación. El escalón superior controla el incremento de conteo cuando existe un cambio en el flujo de energía, lo que ocasiona que el contador se incremente una vez. Sucesivos cambios de estado ocasionan sus registros de conteo correspondientes.

Es importante tener en cuenta, durante la programación de contadores, que los cambios de estado que ocasionan registros de conteo son aquellos que van de apagado a encendido. Por otro lado, todos los contadores realizan su función (conteo de eventos) de manera ascendente, desde cero hasta un valor previamente programado, teniendo su rango dependiendo del fabricante.

El segundo escalón de lógica de relevador de esta función, controla el restablecimiento (*reset*) del contador, de aquí que si ambos escalones se encuentran energizados no se registrará ningún conteo debido a que el contador estará

forzado a cero por la energización de su entrada de restablecimiento.

Con lo anterior podemos resumir el funcionamiento de los contadores como sigue:

a) Cada vez que la entrada es activada (cambio de estado de apagado a encendido) el contador se incrementa en uno, acumula este valor y espera activaciones posteriores registrando el número respectivo de eventos.

b) Cuando esta cuenta alcanza el valor programado (setpoint) se activa la bobina interna correspondiente al contador. Esta bobina puede usarse para energizar salidas, arrancar otro contador, arrancar un temporizador, etc.

Su símbolo (GE Fanuc Serie Uno Plus) es como sigue:

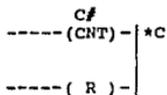


Figura 4.29.- Símbolo de un Contador.

#### Criterio de Aplicación.

Con el uso de contadores se posibilita la programación de funciones de conteo usados comúnmente en operaciones de

rastreo y manejo de materiales. Las funciones del contador también permiten programar eventos y eventos/tiempo manejados por circuitos secuenciadores.

EJEMPLOS.

4.15. Describa el funcionamiento del diagrama de escalera que se dá a continuación.

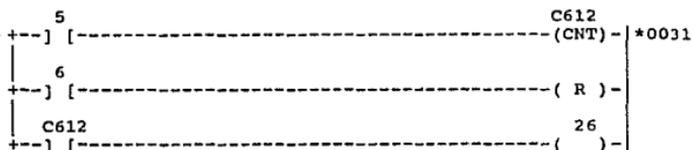


Figura 4.30.- Diagrama de Contador del problema 1.

El circuito anterior registra el número de transiciones apagado-encendido que se presentan en la entrada 5. Cuando este número alcanza el valor programado 31, la bobina correspondiente al contador 612 se energizará cerrando al contacto normalmente abierto C612, encendiendo así la salida 26.

4.16. Dibuje un diagrama de escalera utilizando dos contadores para registrar un total de 16 eventos. Use el contador 613 para el primero y el 614 para el segundo. Los 16 eventos son simulados con la entrada 7. El contador 613

deberá registrar las 9 transiciones de la entrada 7 y el contador 614 las transiciones restantes. Use la entrada 10 como la entrada de restablecimiento para el contador 613. Use un contacto normalmente cerrado para la entrada de restablecimiento del contador 614. La salida 27 deberá energizarse únicamente después de que las 16 cuentas hayan ocurrido. Iniciamos estableciendo los requerimientos:

C613: 9 cuentas.

C614: 7 cuentas

RST613: Entrada 10

RST614: Contacto C613 normalmente cerrado.

Nota: Se utiliza al contacto C613 normalmente cerrado para que el contador 614 esté siempre en cero cuando el contador 613 está contando.

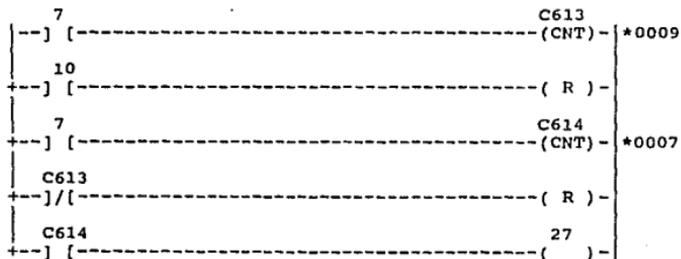


Figura 4.31.- Solución del problema 4.16.



la entrada 11 se apague. En el caso en que la entrada 11 se deje energizada por tiempo indefinido, el contador finalmente registrará 60 pulsos dados por el temporizador. Vemos entonces que como cada pulso del contador representa un tiempo de 60 segundos, la cantidad de tiempo requerida para finalizar el proceso será de 1 Hr.

## REGISTROS DE CORRIMIENTO.

Otra característica potente de los PLC actuales es la posibilidad de simular la operación de los registros de corrimiento. Existen muchos dispositivos físicos que operan en forma similar a estos dispositivos, tales como cadenas de amarre, bandas transportadoras, máquinas registradoras, etc. Hay varias características comunes que pueden ser usadas para describir en forma general a los registros de corrimiento, estas son:

- El movimiento presente es normalmente en una dirección.
- El orden de actividades es el mismo.
- La información contenida debe ser retentiva bajo pérdida de energía.
- Se cuenta con un control de movimiento y con un control de restablecimiento.

El movimiento del que se hace mención puede ser definido como un grupo de incrementos fijos, tales como un eslabón, una operación, una posición de caja, etc., además, por lo general, la información guarda siempre la relación *primero en entrar - primero en salir* (FIFO). Por otro lado, es deseable que la información sea retenida en caso de falla pero además es importante considerar que bajo ciertas condiciones (lógica de control) el registro de corrimiento pueda ser restablecido, o sea, que su contenido presente pueda ser

borrado quedando listo para reiniciar.

Un registro de corrimiento es un grupo de localidades de almacenamiento de información, que están sincronizadas mediante una señal de reloj. Cada localidad puede almacenar un solo bit, significando este cualquier cosa, por ejemplo, pieza buena, pieza mala, presencia de material, falta de material, encendido, apagado, etc.

Un dato es cargado en la primer localidad incrementando su posición a cada pulso de reloj. Cuando por la cantidad de pulsos el primer dato de información introducido se encuentra ya en la última localidad del registro de corrimiento y se presente otro pulso de reloj, esta señal hace que dicho dato sea descargado, entonces la última localidad alojará el dato que se encontraba en la penúltima localidad, a su vez, cada registro alojará el dato que se localizaba en el registro anterior antes del último pulso mientras que la localidad 1 recibe el dato presente en la entrada.

La definición del tamaño de cualquier registro de corrimiento requiere que el usuario establezca cuántas etapas o localidades son requeridas y cuáles referencias estarán asignadas a esa función. Este tamaño es usualmente establecido por la capacidad permisible para el dispositivo físico que se está controlando. Por ejemplo, cuántos eslabones hay

en una cadena, cuántas cajas pueden ser colocadas sobre el transportador, cuántas posiciones tiene la máquina registradora, etc.

Cada etapa o posición de un registro de corrimiento debe ser única, además de que el almacenaje de las localidades no deben ser distribuidas entre diferentes registros de corrimiento. Sin embargo, múltiples funciones de lógica pueden ser programadas para operar sobre un registro y así producir registros de corrimiento bidireccionales, contadores de anillo, pilas FIFO (Primero en Entrar-Primero en Salir), o pilas LIFO (Ultimo en Entrar-Primero en Salir).

Cada referencia de un registro de corrimiento puede controlar cualquier número de contactos de relevador.

El símbolo de esta función se muestra en la figura 4.33. Su funcionamiento consiste en que cuando hay un dato en la entrada del registro, ya sea un 1 o un 0 lógicos, y se presenta un pulso de reloj, el dato es transferido a la primera localidad de salida de las programadas para el registro de corrimiento. Al siguiente pulso de reloj, el dato que está en la primera localidad de salida, es recorrido a la localidad siguiente mientras que el dato de la entrada pasa a la primera localidad. Esto es repetido a cada pulso de reloj. Cuando el primer dato introducido alcanza la última posición programada, al siguiente pulso de reloj será

descargado del registro.

|            |  |      |
|------------|--|------|
| ----(SR )- |  | SR1# |
| ----( C )- |  | SR2# |
| ----( R )- |  |      |

Figura 4.33. Símbolo para un Registro de Corrimiento.

SR1# y SR2# son referencias válidas para registros de corrimiento.

Al registro de corrimiento se le pueden asignar desde una hasta dieciséis salidas, según sea la necesidad. Si las salidas son programadas en forma ascendente, el corrimiento será hacia la izquierda. En caso de ser programadas en forma descendente, el corrimiento será hacia la derecha.

#### Concepto de Contador de Anillo.

Esta es una función que puede obtenerse de una configuración especial con el registro de corrimiento. Su función es obtener una secuencia repetitiva, la configuración con la que se logra esto se muestra en la figura 4.34, en donde observamos que la salida 17 se retroalimenta a la entrada de datos a través del permisivo dado por la entrada 1. Con esto se permite que los datos recorridos se vuelvan a introducir al registro de corrimiento lográndose un ciclo.

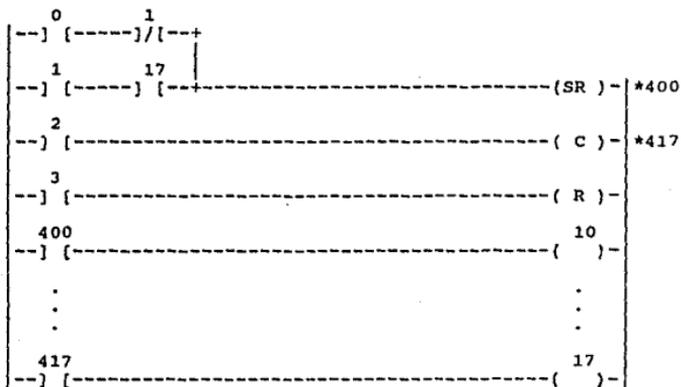
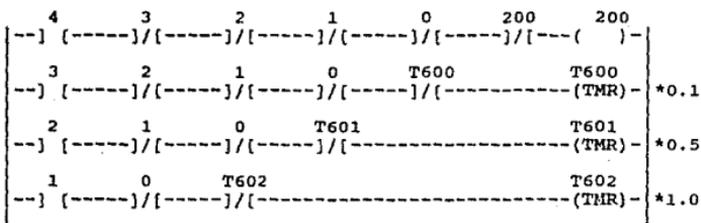


Figura 4.34.- Configuración de Contador de Anillo.

**EJEMPLOS.**

4.18. Analice el funcionamiento del diagrama de escalera dado en la figura 4.35.



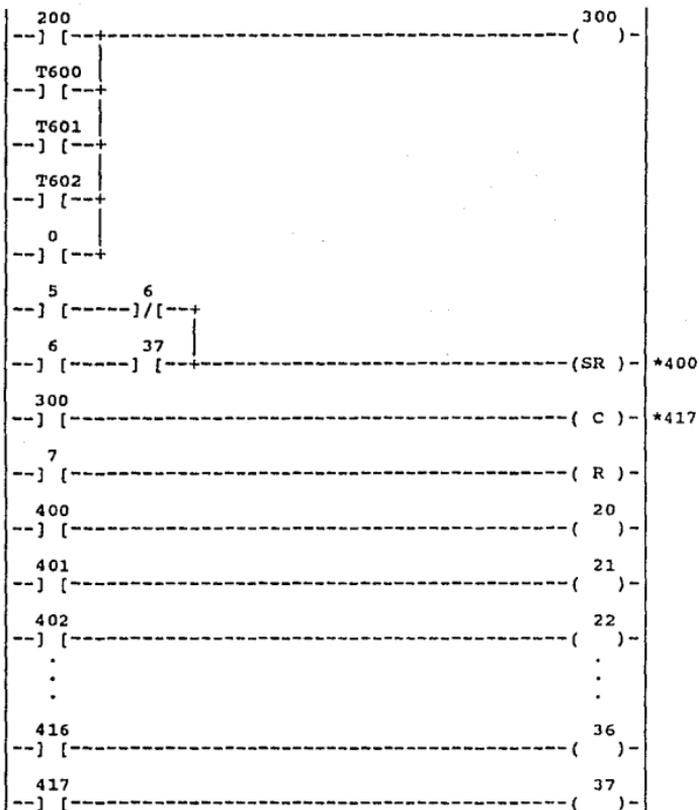


Figura 4.35.- Diagrama del problema 4.18.

Observando la primer parte del diagrama de escalera

(antes del registro de corrimiento) encontramos que es la sección que contiene la lógica de control para la señal de reloj, indicándonos la frecuencia con que los datos serán accedados (temporizadores 600-602) o de forma manual como se explica abajo. En la segunda parte del diagrama, en la entrada del registro de corrimiento, tenemos una lógica de control que proporciona los datos de entrada. Después tenemos que con la entrada 7 se realiza el restablecimiento del registro programado.

Tenemos además que con las referencias programadas para el registro de corrimiento (400 a 417) se controlan los estados de las salidas 20 a la 37, respectivamente. Por otro lado, debido a la realimentación de la salida 37 que está programada en la lógica de entrada del registro de corrimiento, se logra la repetición de la secuencia de datos introducidos anteriormente, esto sólo sucederá si la referencia 6 está energizada debido a su actuación como señal permisiva de la repetición de secuencia debido a su conexión serie.

El acceso de datos se puede lograr, en forma manual como sigue:

- Al comenzar el proceso, es recomendable dar un pulso a la entrada 7 para asegurar que el registro de corrimiento comience a actuar sin que en alguna de sus localidades se en-

cuentre almacenado un dato extraño que pueda causar efectos no deseados en la respuesta del sistema.

- Si encendemos la entrada 5 y damos un pulso a la entrada 0 (encenderla y apagarla una vez) tendremos que la salida 20 quedará encendida debido a que cuando la entrada 5 es energizada se presenta un 1 lógico en la entrada del registro de corrimiento, dato que es accesado al presentarse el pulso en la entrada 0 ya que este, a su vez, implica un pulso en la salida 300 que es la señal de reloj del registro de corrimiento. Si encendemos y apagamos nuevamente la entrada 0 tendremos que quedarán energizadas tanto la salida 20 como la salida 21. Esto es debido a que el 1 que se encontraba en la localidad 400 se corrió a la posición 401 (efecto del último pulso) además de que el 1 que permanecía en la entrada se accesó a la posición 400.

- Si apagamos la entrada 5 y después le damos otro pulso a la entrada 0 tendremos, por un razonamiento similar al anterior, que se energiza la salida 22; la salida 21 permanece energizada y la salida 20 se desenergiza debido a que el último dato accesado fue un 0 lógico.

- Siguiendo un proceso como el anterior podemos escoger, de forma manual, los datos que contendrá la secuencia deseada que controle el registro de corrimiento.

CAPITULO V

APLICACIÓN DE LOS PLC

## APLICACION DE LOS PLC .

Como se ha visto, por su versatilidad, los PLCs ofrecen grandes ventajas en cualquier aplicación industrial. Actualmente encontramos procesos cuya complejidad radica en el manejo simultáneo de gran cantidad de variables. La industria petrolera es una de las que más aplican estos dispositivos de control, sobre todo en el área de compresión de gas natural, ya que en los yacimientos petroleros localizados mar adentro se debe contar con un proceso de compresión de gas para poder enviarlo a plantas de recompresión o distribución en tierra firme.

En este capítulo nos referimos a la aplicación de los PLCs en las plataformas marinas de compresión de gas de PEMEX, localizadas en la Sonda de Campeche, en el Golfo de México. Las plataformas marinas son parte de los complejos petroleros de PEMEX en altamar (95 Kms. mar adentro), los cuales consisten, básicamente de cuatro plataformas que son:

- Plataforma Habitacional.
- Plataforma de Perforación.
- Plataforma de Separación y Producción.
- Plataforma de Compresión.

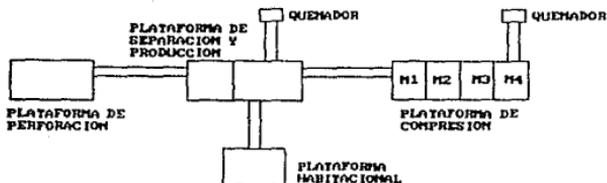


Figura 5.1- Esquema de Distribución de un Complejo Petrolero (Plataforma Marina POL-A).

*Plataforma Habitacional.*- Aquí es donde el personal que labora en los complejos tiene acceso a los servicios de habitación, comida, servicio médico, etc., necesarios durante la jornada de catorce días continuos de trabajo.

*Plataforma de Perforación.*- En esta plataforma se capta la producción de petróleo y gas procedentes de los yacimientos o pozos satélites.

*Plataforma de Separación y Producción.*- En este lugar se cuenta con el equipo necesario para realizar la separación del crudo y gas que vienen de la plataforma de perforación. El gas es enviado a la plataforma de compresión mientras que el crudo es bombeado a tierra firme o alguna central de rebombeo, vía oleoducto, para su procesamiento.

*Plataforma de Compresión.*- Aquí se capta el gas procedente de la plataforma de producción y se tiene el equipo requerido para comprimir el gas recibido con el fin de enviarlo, vía gasoducto, a plantas de recompresión o distribución en tierra firme.

Esta plataforma está formada por cuatro módulos de compresión conectados en *tándem* para repartir equitativamente el manejo del volumen total de gas. Tanto producción como compresión cuentan con quemadores, encendidos continuamente, para consumir sobrecargas de producción o, en el caso de compresión, quemar el excedente de gas en situaciones de recirculación de módulo o paros.

En estas plataformas, los módulos de compresión son la parte más importante del complejo; tienen una gran capacidad de compresión y manejo de volumen de gas. Cuentan con una variada instrumentación, tanto electrónica como neumática, para el control de sus sistemas.

Como *sistema de fuerza motriz*, cada módulo cuenta con una turbina de gas de gran potencia (27000 HP) que proporciona el trabajo útil necesario para impulsar el tren de dos compresores centrífugos de dos etapas cada uno. A continuación se da una breve descripción de su funcionamiento.

El sistema de fuerza motriz consta del conjunto de una

turbina de gas, la que está integrada por un generador de gases (G.G.), una turbina de potencia (T.P.), la flecha y los componentes de admisión y escape.

El generador de gases está compuesto por un compresor de geometría variable, cámaras de combustión y una turbina de alta presión, como se puede observar en la figura 5.2.

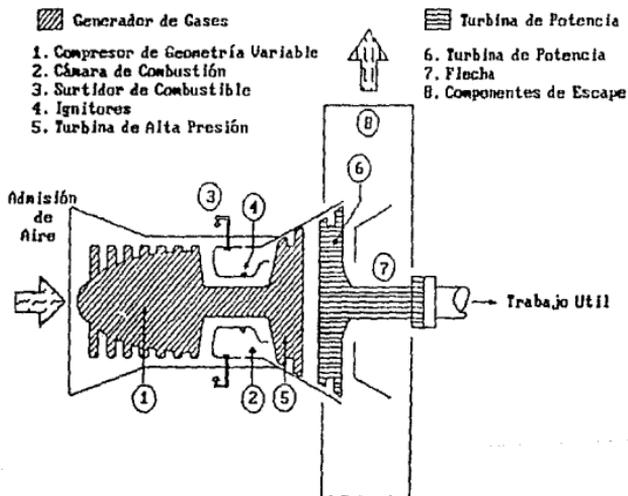


Figura 5.2.- Turbina de Gas.

La turbina de potencia se compone de un rotor de turbina y un estator de baja presión acoplados aerodinámicamente al generador de gases de la siguiente manera:

- El compresor de geometría variable aumenta tanto la presión como la temperatura del aire succionado, dejándolo parado para realizar la mezcla con el gas combustible en las cámaras de combustión. Ya realizada la mezcla, se logra la ignición por medio de una chispa producida por una serie de ignitores. La energía desprendida en las cámaras de combustión impulsa al rotor de la turbina de potencia (acoplamiento aerodinámico) convirtiéndose en el par mecánico aplicado a la flecha, o sea, en el trabajo útil requerido por el tren de compresores.

#### Sistema de Control de los Módulos de Compresión.

Los módulos de compresión son controlados por un sistema electrónico de la marca Bendix que incluye un PLC con el programa de control que realiza el arranque, la operación y la protección del módulo. Este sistema de control emplea tres microcomputadoras digitales y 16 unidades de interface del proceso (unidades I/O), que son:

- Controlador de Secuencias Programable (PSC).

Este es el PLC basado en el microprocesador 1802 de

RCA. En su memoria se carga el programa de control de las secuencias del proceso de compresión. El PLC recibe señales lógicas desde interruptores externos a través de los PIUs de entrada por contacto. Estas señales son procesadas y de acuerdo al programa de control, se envían los estados lógicos necesarios para la operación adecuada del sistema de compresión.

- Control de Interface del Programa (PIC).

Esta unidad tiene varios usos; como programador del PLC, introduciendo el programa en formato de Diagrama de Escalera mediante una terminal de video; es posible modificar, reprogramar o visualizar el estado de las ecuaciones del programa. Ya realizada la programación o modificación del programa, este es transferido a la memoria del PLC para que pueda entrar en operación. Básicamente, el PIC sirve como interface entre el PLC y el usuario.

- Controlador de Unidades de Interface Programables (PIUC).

Esta unidad controla la adquisición de datos de las Unidades de Interface Programables (PIUs) de entrada hacia el PSC y del PSC hacia los PIUs de salida. La comunicación entre el PSC y el PIUC es tipo serie mientras que la comunicación entre el PIUC y los PIUs es en paralelo.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- 16 Unidades de Interface Programables (PIUs).

Estas unidades son el medio de interface entre el PLC y los dispositivos actuadores, como son, solenoides u otras cargas a controlar. En el sistema de control digital Bendix, se tienen tres tipos de PIUs que son:

- i). *PIU de Entrada por Contacto ( CI ).*
- ii). *PIU de Salida de Relevador ( RO ).*
- iii). *PIU de Salida de Transistor ( TO ).*

En general, estas unidades manejan cargas típicas como relevadores, solenoides, lámparas de indicación, interruptores de límite, alarmas, etc. O entradas comunes como interruptores de botón, selectores y contactos de relevador.

Durante la operación del módulo de compresión, el control digital está constituido por el PSC y el PIUC conjuntamente con los PIUs, relacionados entre sí, como se puede observar en la figura 5.3.

**Descripción del Proceso.**

El proceso de compresión consiste en elevar la presión del gas en tres etapas sucesivas. Entre cada etapa se cuenta con equipo para rectificar los efectos de los cambios de presión del gas que consisten en la elevación de la tempera-

tura y la formación de condensados o gasolinas ligeras.

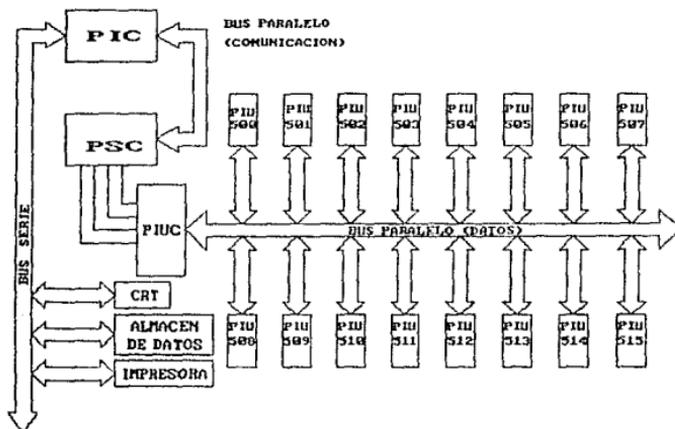


Figura 5.3.- Diagrama a Bloques del PLC Bendix.

En el esquema de la figura 5.4 podemos observar que se tienen dos cabezales de succión provenientes de la plataforma de producción, siendo uno de succión de baja presión (B.P.) (1.5 Kg/cm @ 74°C) y otro de succión de alta presión (A.P.) (6 Kg/cm @ 124°C).

Como ya se había mencionado antes, el gas se comprime en tres etapas sucesivas mediante dos compresores (K-101 y K-102). En el compresor K-101, su primera etapa coincide con

la primera etapa de compresión del proceso mientras que su segunda etapa, junto con la primera del compresor K-102 conforman la segunda etapa de compresión del proceso, esto se debe a que físicamente existe un conducto de unión entre la segunda etapa del compresor K-101 y la primera etapa del compresor K-102, como se puede observar en la figura 5.4. La segunda etapa del compresor K-102 constituye la tercera etapa de compresión de gas.

En base a lo anterior, y con ayuda de la figura 5.4, se puede hacer la descripción de las tres etapas del proceso.

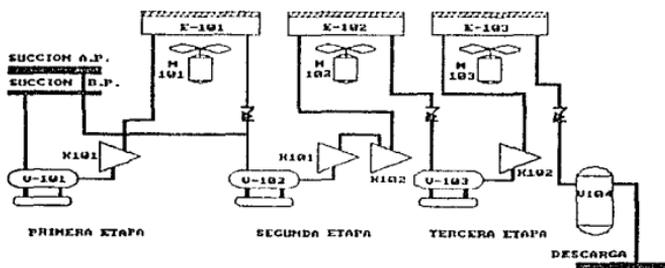


Figura 5.4.- Esquema de las Líneas de Gas del Proceso.

#### Primera Etapa de Compresión.

- a) Se comprime gas proveniente de la línea de succión de baja presión; antes de entrar a la primera etapa de compresión.

sión, este gas se hace circular por el separador V-101, donde se drenan los condensados que contiene esta línea.

b) Ya libre de condensados, el gas entra en la primera etapa del compresor K101, de donde sale con una presión de 6 Kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 144° C.

c) Este gas se hace circular por el soloaire E-101, donde la temperatura se abate a 120° C.

#### Segunda Etapa de Compresión.

a) El gas de descarga de la primera etapa se une con otro flujo tomado del cabezal de succión de alta presión y se hacen pasar por el separador V-102 para drenar, tanto los condensados formados por los cambios de presión y temperatura del gas durante la primera etapa de compresión como de los condensados existentes en la línea de succión de alta presión.

b) Después del separador V-102, el gas se lleva a la segunda etapa del compresor K-101, donde inicia la segunda etapa de compresión de gas, la que termina en la primera etapa del compresor K-102 (ver figura 5.4).

c) En esta fase, el gas ya alcanzó una presión de 21 Kg/cm<sup>2</sup>

a la temperatura de  $167^{\circ}$  C, que es una temperatura alta, por lo que se lleva al enfriador E-102, donde se abate hasta  $120^{\circ}$  C.

#### Tercera Etapa de Compresión.

a) El gas que sale del enfriador E-102 es llevado al separador V-103 para drenar los condensados formados durante la etapa anterior. De aquí se conduce hacia la segunda etapa del compresor K-102, donde adquiere la presión final de  $80 \text{ Kg/cm}^2$  a  $167^{\circ}$  C.

b) La temperatura anterior se reduce a  $120^{\circ}$  C por medio del enfriador E-103.

c) Ya con estas condiciones, el gas se hace pasar por el separador V-104 para evitar que llegen condensados al cabezal de descarga.

Como ya se dijo arriba, los cambios de presión y temperatura a que se somete el gas de proceso, provocan la formación de líquidos condensados o gasolinas ligeras, las cuales se retiran del proceso mediante separadores, que son **trampas** colocadas en la parte inferior de los ductos, permitiendo así el drenado de los condensados formados en cada etapa de compresión. Estos condensados captados, son desviados y llevados a tanques de almacenamiento.

La separación de condensados se realiza para la protección de los compresores, debido a que la entrada de líquidos a estos, resultaría en su destrucción.

Por otro lado, para corregir el aumento de temperatura del gas debido a la compresión, se utilizan los dispositivos llamados *enfriadores* o *soloaires*, los cuales consisten de una cama de tubos enfriados por los ventiladores de proceso (M-101, M-102 y M-103 en la figura 5.4).

Para poder visualizar más fácilmente la posibilidad de aplicación de un PLC en este proceso, es conveniente formar un esquema o *Gráfico de Secuencia de Válvulas*, figura 5.5. En este gráfico se observa la representación resumida del proceso, con tres compresores, uno para cada etapa. Se observan también las válvulas que controlan el flujo de gas, tanto en las etapas de compresión como las vías de escape, hacia la atmósfera (*venteo de baja presión*) y al quemador (*venteo de alta presión*).

En este trabajo sólo se considerara el análisis de la *Secuencia de Purga y Presurización*, y no todo el programa de control digital del proceso. Esto es debido a que para contemplar la totalidad del programa se deben analizar una serie de controladores analógicos, los cuales tienen algoritmos bastante complejos y que quedan fuera de los objetivos

de esta tesis. Con esto, dejamos la propuesta abierta para que alguien interesado tome el desarrollo de ese tema como complemento de este trabajo.

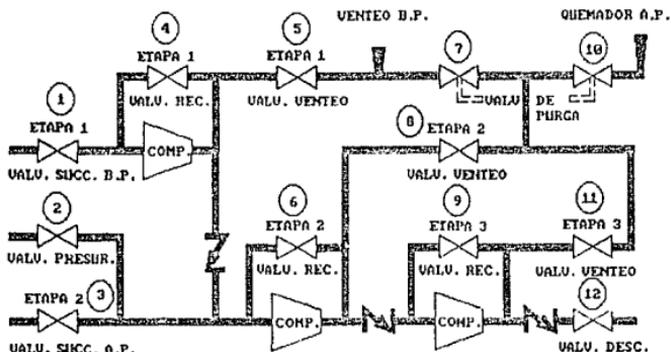


Figura 5.5.- Gráfico de Secuencia de Válvulas.

#### Secuencia de Purga y Presurización.

Por medio de la secuencia de purga, se proporcionan los medios para desalojar el aire y los condensados o gasolinas ligeras que pudieran estar presentes en las líneas (ductos) del sistema de compresión. Como la purga se realiza con el mismo gas, se asegura también la existencia de gas para comprimir en el sistema.

La secuencia de presurización se lleva a cabo para e-

quilibrar la diferencia de presiones existente entre las líneas del cabezal de succión y los ductos del sistema, con la finalidad de disminuir el esfuerzo de los actuadores de las válvulas. Es decir, por medio de una secuencia de cierre y apertura de válvulas, se logra una presión de  $1.5 \text{ Kg/cm}^2$  en los ductos de la primera etapa y de  $6 \text{ Kg/cm}^2$  en los ductos de la segunda y tercera etapas.

En la figura 5.6 se observa, en forma de Diagrama de Flujo, la secuencia de purga y presurización. En esta se indican los tiempos utilizados para la apertura/cierre de las válvulas y las direcciones de los elementos de entrada/salida utilizados. Podemos obtener una Tabla de Secuencias de las Válvulas, la que queda como sigue:

| EUENTO | ESTADO DE LAS VALVULAS |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|        | 1                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| REPOSO | C                      | C | C | A | A | A | A | A | A | C  | A  | C  |
| a      | C                      | C | C | A | A | A | C | A | A | A  | A  | C  |
| b      | A                      | C | C | A | A | A | C | A | A | A  | A  | C  |
| c      | A                      | C | C | C | A | A | C | A | A | A  | A  | C  |
| d      | A                      | C | C | C | C | A | C | A | A | A  | A  | C  |
| e      | A                      | A | C | C | C | A | C | A | A | A  | A  | C  |
| f      | A                      | A | C | C | C | C | C | A | A | A  | A  | C  |
| g      | A                      | A | C | C | C | C | C | C | A | A  | A  | C  |
| h      | A                      | A | C | C | C | C | C | C | C | A  | A  | C  |
| i      | A                      | A | C | C | C | C | C | C | C | A  | C  | C  |
| J      | A                      | A | A | A | C | A | C | C | A | A  | C  | A  |
| k      | A                      | C | A | A | C | A | C | C | A | A  | C  | A  |

Tabla 5.1.- Secuencia de Estados de las Válvulas.

### **Descripción de la Secuencia de Purga y Presurización.**

Esta secuencia se podrá comprender mejor analizando los datos registrados en la Tabla 5.1, con el Gráfico de Secuencias de Válvulas dado en la figura 5.5.

- **Reposo:** Se encuentran cerradas las tres válvulas de entrada (Succión de Baja Presión (1), Presurización (2) y Succión de Alta Presión (3)) al igual que la de Purga de Alta Presión (10) y la de Descarga (12), las demás válvulas se encuentran abiertas.

- **Evento a:** Se cierra la válvula de Venteo de Baja Presión (7) y se abre la de Alta Presión (10). Esto con el fin de que el gas utilizado en la purga de la segunda y tercera etapas no escape hacia la atmósfera y, en cambio, tenga salida al quemador. Al mismo tiempo, se habilita un temporizador de 25 minutos, que es el tiempo máximo para realizar esta secuencia. Si el sistema no queda completamente purgado y presurizado en este tiempo, el programa ordenará un **Paro Total por Falla de Presurización**.

- **Evento b:** Se inicia la purga al abrir la válvula de Succión de Baja Presión (1) para hacer un barrido a las líneas de la Etapa 1.

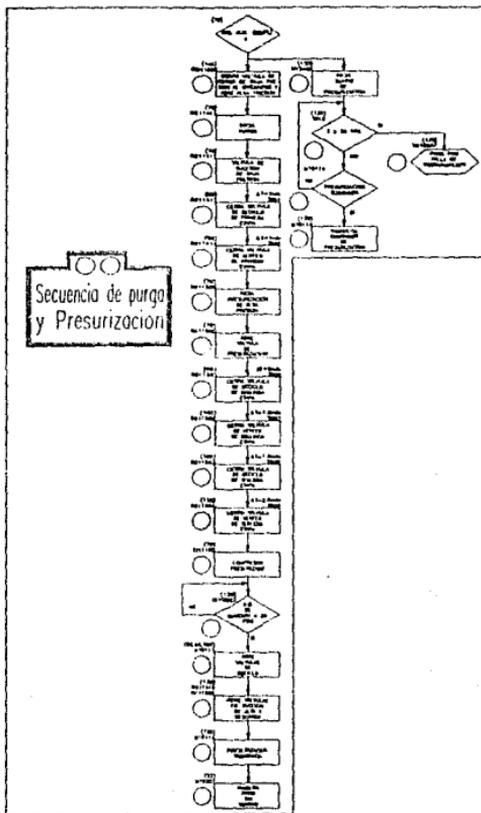


Figura 5.6.- Diagrama de Flujo. Secuencia de Purga y Presurización.

- **Evento c:** Después de 1 minuto, se cierra la válvula de Reciclo de la Primera Etapa (4) con la finalidad de purgar más eficazmente al compresor de la Etapa 1. El gas se sigue venteando.

- **Evento d:** Después de 1 minuto, se cierra la válvula de Venteo de la Primera Etapa (5) para lograr su presurización.

- **Evento e:** Se abre la válvula de Presurización (2), iniciando así, la purga de las etapas segunda y tercera.

- **Evento f:** Después de 2 minutos, se cierra la válvula de Reciclo de la Segunda Etapa (6) para purgar mejor al compresor de la Etapa 2.

- **Evento g:** Después de 1.5 minutos, se cierra la válvula de Venteo de la Segunda Etapa (8) para subir la presión del gas en sus líneas.

Existe un flujo de gas que logra vencer la resistencia de la válvula check hacia la Etapa 3, por lo que al mismo tiempo se está purgando esta última etapa.

- **Evento h:** Después de 1.5 minutos, se cierra la válvula de Reciclo de la Tercera Etapa (9) para lograr la purga total del compresor de esta etapa.

- **Evento i:** Después de 2.5 minutos, se cierra la válvula de Venteo de la Tercera Etapa (11), con lo que la presión subirá más rápidamente hasta los 6 Kg/cm<sup>2</sup> requeridos para considerar al sistema presurizado.

Si todos los eventos anteriores se han realizado en un tiempo menor de 25 minutos, se inhabilitará al temporizador de límite de tiempo de esta secuencia y se continuará con las siguientes. Si en cambio, se cumple este tiempo sin lograr tal presión, el programa mandará a un *Paro Total*, con lo que se abrirán las válvulas de Reciclo de las tres etapas (4, 6 y 9) y las de Venteo de las etapas 2 y 3 (8 y 11 respectivamente), además de cerrarse la de Succión de Baja Presión (1) y la de Presurización (2). Después de 1.5 minutos, ya que se venteó la mayor parte del gas de las líneas, se abre la válvula de Purga de Baja Presión (7) y la de Venteo de la Etapa 1 (4) para efectuar un venteo atmosférico de gas. Con esto las válvulas quedan como en el estado de reposo del sistema de compresión.

- **Evento j:** Se abren las válvulas de Succión de Alta (3) y la de Descarga (12) e instantes después, se abren las válvulas de Reciclo de las tres etapas (4, 6 y 9).

- **Evento k:** Se cierra la válvula de Presurización (2), llegando con esto al final de la secuencia. En ese instante se inhabilita al temporizador programado para limitar el tiempo

de realización de esta secuencia.

Cumplido lo anterior, se habilita la *Secuencia de Paro Sin Venteo*, que es valiosa en el caso de que se presente algún problema durante la puesta en marcha de la máquina, permitiendo que el sistema quede presurizado sin poner en alto riesgo, tanto al personal como a las instalaciones. En otras palabras, se utilizará la secuencia de Paro Sin Venteo cuando el problema ocurrido, pueda ser corregido en un tiempo corto y con el sistema presurizado.

Por otro lado, esta secuencia permite un importante ahorro de gas y tiempo para realizar el siguiente intento de arranque.

#### **Análisis del Diagrama de Escalera (Purga y Presurización).**

En la siguiente lista se proporciona un resumen de los **canales de entrada/salida** involucrados en el programa de control de la secuencia de purga y presurización, indicando el mnemónico y la respectiva descripción de cada canal.

|         |         |  |
|---------|---------|--|
| M10405  | SAUXOK  | SECUENCIA AUXILIAR TERMINADA.              |
| RO11515 | HABSPRE | HAB. SECUENCIA DE PRESURIZACION TERMINADA. |
| M10207  | MPSV3   | MEMORIA DE PARO SIN VENTEO.                |

|         |         |   |
|---------|---------|---|
| TO10002 | CHVLVR  | ACTIVAR CIERRE VALVULAS DE RECICLO.         |
| M10105  | ARRANQE | PERMISIVO DE ARRANQUE.                      |
| CI11100 | COMPRES | PRESION DE LA CARCAZA DEL COMPRESOR.        |
| M10502  | MBDVSOL | MEMORIA VALVULA DE VENTEO GAS DE PROC.      |
| CI10309 | VLVVQA  | VALVULA DE VENTEO AL QUEMADOR ABIERTA.      |
| RO11412 | VLVSBP  | SOLEN. DE VALVULA DE SUCCION BAJA PRESION.  |
| CI10306 | VLVSAA  | VALVULA DE SUCCION DE ALTA PRESION ABIERTA. |
| CI10507 | VLVVIC  | VALVULA DE VENTEO DE 1 ETAPA CERRADA.       |
| RO11500 | VLVPR   | SOLENOIDE DE VALVULA DE PRESURIZACION.      |
| CI10304 | VLVSBA  | VALVULA DE SUCCION DE BAJA PRESION ABIERTA. |
| CI10301 | VLVPRC  | VALVULA DE PRESURIZACION CERRADA.           |
| M10109  | PURGA1  | PURGA 1.                                    |
| M10110  | PERPGA  | PERMISIVO DE PURGA.                         |
| TO10001 | ACTSCTR | ACTIVAR CONTROL DE RECICLO.                 |
| M10305  | SOSVLV  | SOSTENER VALVULAS.                          |
| TO04    | PURR1E  | PURGA DE RECICLO 1 ETAPA.                   |
| M10113  | PVLVSDA | ABRIR VALVULAS DE SUCCION Y DESCARGA.       |
| RO11413 | VLVR1E  | SOLENOIDE DE VALVULA DE RECICLO 1 ETAPA.    |
| M10015  | RELOJ   | RELOJ GENERADO POR EL SISTEMA.              |
| M10112  | SVLVVC  | SUMARIO DE VALVULAS DE VENTEO CERRADAS.     |
| TO10100 | PURGA   | PURGA.                                      |
| CI10501 | VLVR1C  | VALVULA DE RECICLO DE 1 ETAPA CERRADA.      |
| RO11414 | VLVV1E  | SOLENOIDE DE VALVULA DE VENTEO 1 ETAPA.     |
| TO05    | PURV1E  | PURGA DE VENTEO 1 ETAPA.                    |

|         |         |   |
|---------|---------|---|
| CI10300 | VLVPRA  | VALVULA DE PRESURIZACION ABIERTA.               |
| T006    | PURR2E  | PURGA DE RECICLO 2 ETAPA.                       |
| M10308  | MVLVR2E | MEMORIA VALVULA DE RECICLO 2 ETAPA.             |
| RO11501 | VLVR2E  | SOLENOIDE DE VALVULA DE RECICLO 2 ETAPA.        |
| M10305  | SOSVLV  | SOSTENER VALVULAS.                              |
| M10309  | MVLVR3E | MEMORIA VALVULA DE RECICLO 3 ETAPA.             |
| RO11503 | 3RV SOL | SOLENOIDE DE VALVULA DE RECICLO 3 ETAPA.        |
| CI10503 | VLVR2C  | VALVULA DE RECICLO DE 2 ETAPA CERRADA.          |
| T007    | PURV2E  | PURGA DE VENTEO 2 ETAPA.                        |
| RO11502 | VLVV2E  | SOLENOIDE DE VALVULA DE VENTEO 2 ETAPA.         |
| CI10509 | VLVV2C  | VALVULA DE VENTEO DE 2 ETAPA CERRADA.           |
| T008    | PURR3E  | PURGA DE RECICLO 3 ETAPA.                       |
| M10309  | MVLVR3E | MEMORIA VALVULA DE RECICLO 3 ETAPA.             |
| RO11503 | 3RV SOL | SOLENOIDE DE VALVULA DE RECICLO 3 ETAPA.        |
| CI10505 | VLVR3C  | VALVULA DE RECICLO DE 3 ETAPA CERRADA.          |
| T009    | PURV3E  | PURGA DE VENTEO 3 ETAPA.                        |
| RO11504 | VLVV3E  | SOLENOIDE DE VALVULA DE VENTEO 3 ETAPA.         |
| M10111  | SVLVR C | SUMARIO DE VALVULAS DE RECICLO CERRADAS.        |
| CI10511 | VLVV3C  | VALVULA DE VENTEO DE 3 ETAPA CERRADA.           |
| CI10803 | SAPDIF  | PRESION DIF. VALV. DE SUCCION ALTA<br>PRESION.  |
| RO11415 | VLVSAP  | SOLEN. DE VALVULA DE SUCCION ALTA PRE-<br>SION. |
| RO11505 | SLVD    | SOLENOIDE DE VALVULA DE DESCARGA.               |
| M10104  | SVLVR A | SUMARIO DE VALVULAS DE RECICLO ABIERTAS.        |
| CI10302 | VLVDESA | VALVULA DE DESCARGA ABIERTA.                    |



```

!
!   EQN: 80       0

!VLVSBA  VLVPRC  VLVSBP  VLVPR  SAUXOK  ARRANQE  MPSV3          PERPGA
+--] [-----] [-----] [---o--] [---/] [-----] (OFF)-
!CI10304 CI10301 RO11412 RO11500! M10405  M10105  M10207          M10110
!PERPGA
+--] [-----]
! M10110
! ACTCREC SOSVLV
+-----] [-----] [-----]o
! TO10001 M10305
!PURGA1 ***** PVLVSDA! VLVRIE
+--] [---+--C * * +--[/]--o (OFF)-
! M10109! * TU004 * ! M10113! RO11413
! ! * * !ACTCREC!
! +--o=R 00.0 * +--] [---o
! * * TO10001
! RELOJ * 01:00.0 *
+--] [---C *
! M10015 *****
!PURGA1 SVLVVC
+--] [---[/]-----] (OFF)-
! M10109 M10112 TO10100
!

```

```

!   EQN: 90       0

! MPSV3
+--] [-----]o
! M10207
!PURGA1 VLVRIE VLVRI1C ***** ARRANQE! VLVVIE
+--] [---+--] [-----] [---o--C * * +--] [---o-----] (OFF)-
! M10109!RO11413 CI10501! * TU005 * M10105 RO11414
! !VLVVIE ! *
! +--] [---o-----]o=R 00.0 *
! RO11414 * *
! RELOJ * 01:00.0 *
+--] [---C *
! M10015 *****
!PERPGA VLVpra ***** PVLVSDA MVLVR2E
+--] [---+--] [---o--C * * +--[/]--o (OFF)-
! M10110!CI10300! * TU006 * ! M10113! M10308
! !PVLVSDA! * * !ACTCREC!
! +--] [---o-----]o=R 00.0 * +--] [---o
! M10113 * * TO10001
! RELOJ * 02:00.0 *
+--] [---C *
! M10015 *****
!

```





```

!
!
!MBDVSOL BYPTBDV
+--] [---+--] [-----o
! M10502!CI11110
!SVLVVC ! ***** BYPTBDV!
+--] [---+--C *-----[/-]o-----VLBVDV
! M10112! * TD211 * CI11110 *------(OFF)-
! * * * RO11509
! * *
! +--C=P 00.0 *
! * *
! RELOJ * 59.5 *
+--] [---+--C *
! M10015 *****
!

```

Programa de Control para la Secuencia de Purga y Presurización.

#### Descripción.

Al haberse cumplido con la Secuencia Auxiliar (M10405), en la ecuación 130 observamos que se inicializa al temporizador T010, el cual, si pasados 25 minutos no se restablece, energizará la salida T010007, con lo que se provocará un Paro por Falla de Presurización.

Al tener presente el Permisivo de Arranque (M10105), además de que se haya cumplido con la Secuencia Auxiliar (M10405), se energiza a la salida M10502. En estas condiciones, se cierra el contacto M10502 del siguiente escalón, pero como el contacto CI10309 está abierto (la válvula de venteo al quemador está cerrada) se corta el flujo de energía. En la ecuación 145, al cerrarse M10502 se restablece (preset) al temporizador T211, energizando a la salida

RO11509, enviando así la orden de que se cierre la válvula de venteo de baja presión y se abra la de venteo al quemador. Al cumplirse esto, se energiza el canal CI10309, por lo que, regresando a la ecuación 70, observamos que se cierra la cadena de contactos para energizar la salida RO11412, abriendo la válvula de succión de baja presión. El flujo de energía en la rama de bifurcación se corta en el contacto CI10507, ya que la válvula de venteo de la primera etapa no está cerrada.

Cuando tenemos la señal de que la válvula de succión de baja presión ya está abierta, que la válvula de presurización está cerrada y sigue activado el solenoide de la válvula de succión de baja, se activa la memoria M10109 y, por el arreglo en paralelo de este contacto con los tres anteriores, se "puentea" el efecto que tienen en este escalón, la presencia o ausencia de dichas señales, ya que esta memoria se utiliza como permisivo en otras ecuaciones, como veremos a continuación.

En la ecuación 80, al cerrarse el contacto M10109 se inicializa al temporizador T004, el que después de 1 minuto energizará a la salida RO11413 (existe flujo de energía ya que las válvulas de succión de alta presión y de descarga están cerradas) ordenando que se cierre la válvula de reciclo de la primera etapa.

En la ecuación 90, al cerrarse M10109 y recibir la señal de que esta válvula ya se cerró, se inicializa al temporizador T005, el que después de 1 minuto activará al canal RO11414, ordenando que se cierre la válvula de venteo de la primera etapa. Después de un barrido del programa, amarrará al temporizador T005 para evitar que sea restablecido nuevamente. Cuando la válvula de venteo de la primera etapa se cierre, se energizará el canal CI10507 cerrando la cadena de contactos para activar al solenoide de la válvula de presurización (RO11500) ordenando que se abra. Al cerrarse el contacto RO11500, en la ecuación 80, se logra energizar a la memoria M10110, que es utilizada como permisivo de purga para las etapas segunda y tercera, como veremos, por lo que al igual que M10109 tiene un amarre parcial. Con el permisivo M10110 y la señal de que la válvula de presurización está abierta (CI10300 cerrado), se inicializa al temporizador T006, el que después de 2 minutos mandará cerrar a la válvula de reciclo de la segunda etapa (RO11501), al cumplirse esto, cerrará el contacto CI10503 y como M10110 y RO11501 ya están cerrados, se inicializa al temporizador T007 que, después de 1 minuto y medio activará al solenoide de la válvula de venteo de la segunda etapa (RO11502) para cerrarla. El contacto RO11502, de manera similar a la etapa anterior, se utiliza para evitar el restablecimiento del temporizador T007.

Al cumplirse el cerrado de esta válvula, se energiza el canal CI10509, cerrando la cadena de contactos para inicializar al temporizador T008 y así, pasado 1 minuto y medio, mande cerrar la válvula de reciclo de la tercera etapa, de igual forma, al cumplirse la orden energizando al canal CI10505, se cierra la cadena de contactos para inicializar al temporizador T009 y, después de 2 minutos y medio mande cerrar la válvula de venteo de la tercera etapa (RO11504). Este contacto se utiliza para evitar la inicialización del temporizador T009.

Tenemos dos escalones que resumen el estado de las válvulas de reciclo y de venteo de las tres etapas de compresión, para energizar dos memorias, M10111 y M10112 respectivamente.

Después de cerrada la válvula de venteo de la tercera etapa, solo queda esperar a que llegue la señal que indica que la diferencial de presión en la válvula de succión de alta presión es menor a 20 psig, activando al canal CI11100, con lo que se considera al sistema presurizado. Cuando esto suceda, se cerrará el contacto CI10803 energizando la memoria M10113. Al cerrarse este contacto, se mandarán abrir la válvula de succión de alta presión y la válvula de descarga (RO11415 y RO11505 respectivamente). De la misma manera, se desenergizarán las válvulas de reciclo de las tres etapas, como se observa en las ecuaciones 80, 90 y 100. En la ecuación

ción 70 se va a desenergizar la salida R011500 cuando se haya abierto la válvula de succión de alta presión (el contacto CI10306 se abre)

En el último escalón de la ecuación 120, al llegar las señales de que las válvulas de succión de alta presión y de descarga ya están abiertas, que la válvula de presurización ya está cerrada y debido a que el resumen del estado de las válvulas de reciclo esta desenergizado, se cierra la cadena de contactos para energizar tanto la memoria M10114 como a la salida R011515. Con la memoria M10114 se desactiva al temporizador T010 (ecuación 130). El canal R011515 es utilizado como habilitador, en otras secuencias del programa de arranque indicando que la purga y presurización ya fueron realizadas. También se utiliza en la ecuación 70 para asegurar que la válvula de presurización esté cerrada.

Cumplida esta secuencia, el sistema queda disponible para iniciar el arranque de la turbina de gas (sistema de fuerza motriz) y después, iniciar la compresión de gas.

Por último, consideremos conveniente proporcionar el Diagrama de Secuencia de Válvulas de tal manera que se visualice directamente a cada válvula con su actuador, incluyendo los canales relacionados con éstos. Así se comprenderá mejor el Diagrama de escalera (ver Apéndice A).

## CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

El Controlador Lógico Programable (PLC), desde su desarrollo se ha convertido en parte integral de la automatización de sistemas de control y de control de procesos. Dentro del campo de control industrial, los PLC se han usado con éxito para reemplazar lógica de estado sólido, controladores analógicos de uso específico e incluso minicomputadoras.

Los PLC fueron desarrollados para responder con rapidez a los cambios en los requerimientos de aplicación através de una fácil reprogramación y sin necesidad de efectuar cambios en el equipo físico. Conforme aumentó su aceptación, también lo hicieron las demandas de más funciones, más memoria y mayor capacidad de entradas/salidas, a lo que los fabricantes respondieron con la creación de nuevos modelos y más aún, desarrollando el concepto de *familia* para cubrir esas necesidades con una cantidad mínima de equipo físico y un máximo de elementos comunes. El concepto de familia permite a un usuario escoger un PLC más adecuado para sus requerimientos sin impactar negativamente en los costos de soporte. Así llegamos a que los principales objetivos que se esperan de un PLC son:

a).- *Proporcionar una más fácil integración de sistemas.* Es decir, bajo una situación de cambios en el proceso o actua-

lización del sistema de control, los cambios requeridos sean mínimos en cuanto a equipo físico y nulos en cuanto a las herramientas de programación.

b).- *Aumentar la confiabilidad.* Esto se refiere a que los cambios o mejoras que se le hagan al sistema, aseguren una mayor funcionalidad y eficiencia en el desempeño del PLC.

c).- *Aumentar la eficiencia en programación.* Aquí reforzamos lo comentado en el punto (a), es decir, si se ofrecen nuevas versiones de las herramientas de programación en las que se cuenta con nuevas opciones que simplifiquen la organización del programa de usuario o el manejo de cualquier función, esto no debe originar cambios en el formato o en el procedimiento de programación original sino solo la debe hacer más fácil y accesible.

d).- *Proporcionar mayor efectividad en costo.* Los tres puntos anteriores aseguran este último, ya que si logramos una optimización significativa de nuestras instalaciones y del sistema de control con un menor requerimiento de equipo físico y de inversión en capacitación del personal, el ahorro en costo se ve claramente.

En este trabajo se seleccionó la *programación en Diagramas de Escalera* debido a los siguientes puntos importantes:

- En la industria, los sistemas eléctricos y los tableros de control se documentan en base a Diagramas de Escalera.

- La interpretación de la lógica de funcionamiento del programa de usuario en formato de Diagrama de Escalera es sencilla y rápida, y el personal técnico está ya familiarizado en el manejo de los diagramas de escalera eléctricos.

- Es una forma práctica para que los PLC nos muestren el estado de un elemento o el resultado de una función en cualquier momento requerido por el operador.

- La programación en formato de Diagrama de Escalera no requiere conocimientos previos de otros lenguajes de programación de alto o bajo nivel, por lo que los tiempos para capacitación del personal se reducen significativamente.

De lo anterior, nos explicamos el hecho de que la mayoría de los PLC se pueden programar en formato de Diagramas de Escalera y, que las herramientas de programación consideradas más eficaces y aceptadas, se basan en este formato.

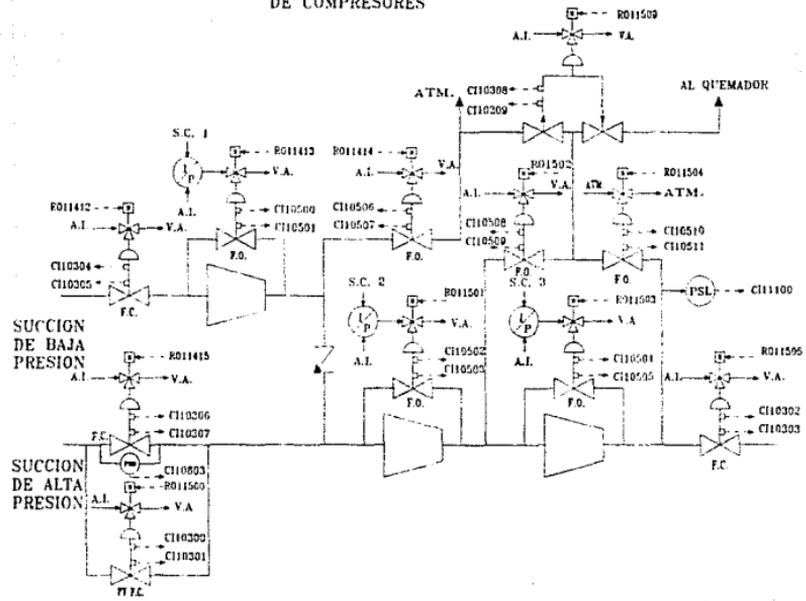
Respecto a los usos y de los PLC como *unidad de control*, en la siguiente tabla se proporcionan ejemplos de aplicaciones típicas.

|                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| <i>Anunciadores</i>             | <i>Armado de cajas</i>        |
| <i>Bandas transportadoras</i>   | <i>Compresores</i>            |
| <i>Comutación ferroviaria</i>   | <i>Control de tráfico</i>     |
| <i>Curtiduría</i>               | <i>Diagnóstico a máquinas</i> |
| <i>Elevadores</i>               | <i>Ensamble mecánico</i>      |
| <i>Grúas</i>                    | <i>Operaciones mineras</i>    |
| <i>Peletizadoras</i>            | <i>Plantas de energía</i>     |
| <i>Reactores</i>                | <i>Robots</i>                 |
| <i>Señalamiento ferroviario</i> | <i>Sistemas de seguridad</i>  |
| <i>Soldadura</i>                | <i>Taladrado</i>              |
| <i>Tratamiento de aguas</i>     | <i>Tratamiento térmico</i>    |
| <i>Turbinas, etc.</i>           |                               |

En esta tabla podemos observar la alta aceptación de los PLC en una gran variedad de industrias, en las que el tamaño del sistema de control depende de la cantidad de variables (digitales o analógicas) a manejar, además de la cantidad de información a proporcionar y de la capacidad de comunicación con otros sistemas que ofrezca el PLC, esto por si el usuario requiere entrelazarlo por ejemplo con un sistema de control distribuido o con algún sistema de adquisición de datos para llevar un control detallado del funcionamiento de la planta y de su producción.

## APENDICE A

### SISTEMA DE PURGA Y PRESURIZACION DE COMPRESORES



## APENDICE B

**SERIE DE INSTRUCCIONES DEL PLC 90-30 (1)**

| CONTACTOS                   |         |  |
|-----------------------------|---------|--|
| TIPO DE CONTACTO            | SÍMBOLO | ALIMENTACIÓN A LA DEBIDA                 |
| NORMALMENTE ABIERTO         |         | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                 |
| NORMALMENTE CERRADO         |         | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                |
| CONTORNACIONES DE CONTACTOS |         | NO LA NECESITA, PERO SE USA EN EL DIBUJO |

| BORNAS                 |         |                      |  |
|------------------------|---------|----------------------|--|
| TIPO DE BORNA          | SÍMBOLO | ALIMENTACIÓN A BORNA | EFECTUADO  |
| NORMALMENTE ABIERTO    |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
|                        |         | OFF                  | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |
| NEGATIVA               |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |
|                        |         | OFF                  | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
| NEUTRA                 |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
|                        |         | OFF                  | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |
| NEUTRA NEGATIVA        |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |
|                        |         | OFF                  | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
| TRANSICIÓN POSITIVA    |         | OFF a ON             | SE LA REFIERE EN LA TABLA DE CONTACTOS EN BORNAS |
|                        |         | ON a OFF             | SE LA REFIERE EN LA TABLA DE CONTACTOS EN BORNAS |
| SET                    |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
|                        |         | OFF                  | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |
| RESET                  |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |
|                        |         | OFF                  | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
| SET (ESTABLECER)       |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
|                        |         | OFF                  | NO CAMBIA EL ESTADO DE LA BORNA                  |
| RESET (REESTABLECER)   |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |
|                        |         | OFF                  | NO CAMBIA EL ESTADO DE LA BORNA                  |
| CONTORNACION DE BORNAS |         | ON                   | TIENE ALIMENTACIÓN EN ON                         |
|                        |         | OFF                  | TIENE ALIMENTACIÓN EN OFF                        |

| TEMPORIZADORES           |         |                       |   |  |
|--------------------------|---------|-----------------------|---|--|
| NOMBRE                   | SÍMBOLO | PARÁMETROS UTILIZADOS | DESCRIPCIÓN   |  |
| TEMPORIZADOR INCREMENTAL |         | Escalón Q1            | SE INICIA EN EL MOMENTO DE ENCENDIDO DEL PLC. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO. |  |
| TEMPORIZADOR             |         | Escalón Q1            | SE INICIA EN EL MOMENTO DE ENCENDIDO DEL PLC. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO.   |  |
| COUNTDOWN ASCENDENTE     |         | Escalón Q1            | SE INICIA EN EL MOMENTO DE ENCENDIDO DEL PLC. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO.   |  |
| COUNTDOWN DESCENDENTE    |         | Escalón Q1            | SE INICIA EN EL MOMENTO DE ENCENDIDO DEL PLC. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO. CUANDO SE RECIBEN LOS PULSOS DE ALIMENTACIÓN EN EL ESCALÓN Q1, SE INICIA EL TIEMPO DE TIEMPO.   |  |











## APENDICE C

## GLOSARIO DE TERMINOS

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| <b>ADRESS.-</b>               | Serie de numeros desde 0 hasta 1723, asignados a una memoria de programa especifica y utilizada para acessar a dichas localidades.   |
| <b>AND (Lógica)</b>           | Operación matemática entre bits.   |
| <b>AND (Función)</b>          | Una operación que coloca dos contactos o grupos de contactos en serie.   |
| <b>BIT</b>                    | La más pequeña unidad de memoria.  |
| <b>BYTE</b>                   | Una medición de memoria, igual a 8 bits.   |
| <b>CMOS</b>                   | Semiconductor de Metal Óxido Complementario. Memoria de lectura/escritura, que necesita de batería para retener su contenido.  |
| <b>CPU</b>                    | Unidad Procesadora Central. Dispositivo Central o controlador que interpreta instrucciones del usuario, toma y ejecuta decisiones basado en el programa almacenado. Este programa especifica las acciones que se deben tomar sobre las entradas.                 |
| <b>CONTADOR</b>               | Función dentro del PLC que registra eventos basados en una transición ON/OFF de una señal. Una bobina asociada con el contador es energizada después de un valor predeterminado por el usuario.  |
| <b>DISPOSITIVOS DE CAMPO:</b> | Dispositivos proporcionados por el usuario, que normalmente generan información al PLC (entradas, interruptores de botón, contactos de relevador, etc.) Realizan tareas por medio del PLC (salidas, arranques de motor, solenoides, indicadores luminicos, etc.) |
| <b>GRUPO.</b>                 | Serie de 8 referencias consecutivas, tal como puntos de E/S, bobinas internas, etc.  |
| <b>ENTRADAS</b>               | Una señal generalmente ON u OFF, que proporciona información al PLC.   |

**INSTRUCCIÓN:** Una palabra, o grupo de palabras y numerales que son parte de un programa almacenado en la memoria de usuario.

**E/S (Entrada/Salida)** Parte del PLC en la que se conectan los dispositivos de campo.

**DIAGRAMA DE ESCALERA.** Una representación de sistemas de relevador de control lógico. La lógica programada por el usuario es expresada en simbología equivalente a relevador.

**LATCH** Operación del PLC que provoca que una bobina quede en ON y permanezca en ON aún si la energía de entrada es removida.

**LOGICA** Conjunto de respuestas (salidas) a varias condiciones externas (entradas). También llamado programa.

**MEMORIA** Lugar físico donde se almacena información tal como programas y/o datos.

**MODULOS** Subensamble electrónico reemplazable.

**RUIDO** Indeseable disturbio eléctrico que se presenta en una señal normal y se genera por un contenido de alta frecuencia.

**BOBINA NO RETENTIVA.** Bobina que se apaga cuando se le quita la energía.

**AISLAMIENTO ÓPTICO.** Uso de un dispositivo de estado sólido que aísla la entrada de usuario y los dispositivos de salida de la circuitería interna de un módulo de E/S y de la CPU.

**OR (Lógica)** Operación matemática entre bits, donde si cualquier bit es 1, el resultado será un 1.

**OR (Función)** Operación que coloca dos contactos o grupos de contactos en paralelo.

**SALIDAS** Señal, normalmente ON u OFF, originada desde el PLC con la energía proporcionada por el usuario, que controla dispositivos externos basado en los comandos provenientes de la CPU

**PLC** Controlador Lógico Programable.

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>EQUIPO PERIFÉRICO</b>       | Dispositivos externos que pueden comunicarse con un PLC; por ejemplo grabadoras de cassetes, impresoras, grabadora de PROM.   |
| <b>PRESET</b>                  | Valor numérico especificado en una función que establece un límite para un contador o un temporizador. Una bobina se energizará cuando se alcance éste valor.   |
| <b>PROGRAMA</b>                | Secuencia de funciones y/o instrucciones introducidas dentro de un controlador programable, para ejecutarse por la CPU, con el propósito de controlar una máquina o proceso.  |
| <b>CONTROLADOR PROGRAMABLE</b> | Dispositivo de control industrial de estado sólido, el cual recibe entradas desde un elemento de control suministrado por el usuario, como un interruptor y sensores, implementados en un patrón preciso determinado por un diagrama de escalera, cuya lógica se encuentra almacenada en la memoria y proporciona salidas para controlar elementos, tales como relevadores o arrancadores de motores. |
| <b>PROGRAMADOR</b>             | Dispositivo utilizado para introducción, modificación y/o alteración de la memoria de los PLC, incluyendo la lógica y áreas de almacenamiento.  |
| <b>PROM</b>                    | Sinónimo de Memoria de Solo Lectura Programable. Tipo de memoria que requiere de un método especial de grabado, pero es retentiva bajo falta de energía.  |
| <b>RAM</b>                     | Memoria de Acceso Aleatorio. Memoria de estado sólido que permite que sean almacenados y accedidos bits individuales. Este tipo de memoria es volátil; esto es que almacena datos que se pierden si falla la alimentación. Es por esto que necesita de una batería como respaldo.   |
| <b>REFERENCIA</b>              | Número usado en un programa que dice a la CPU de donde provienen los datos o hacia donde transferir los datos.  |
| <b>REGISTRO</b>                | Grupo de localidades de memoria consecutivas dentro de un PLC, usado para el almacenamiento de datos numéricos.   |

**BOBINA RETENTIVA.** Una bobina que permanecerá en su último estado aún y cuando la energía sea removida.

|                 |   |
|-----------------|---|
| <b>ESCALÓN</b>  | Secuencia o agrupamiento de funciones de PLC e instrucciones que controlan una bobina. Uno ó más escalones forman un diagrama de escalera.                              |
| <b>SCAN</b>     | Técnica de examinación o de resolver todos los pasos lógicos especificados por el programa en forma secuencial, y repetitiva desde el primer paso hasta el último.      |
| <b>UNLATCH</b>  | Función de PLC que ocasiona que una salida previamente activada por un retenedor (latch), se desactive, no importando que tan brevemente la función haya sido activada. |
| <b>PALABRA</b>  | Medida de memoria, igual a 16, 8 ó 4 bits.  |
| <b>ESCRIBIR</b> | Para extraer o transferir datos desde el PLC hacia una unidad periférica.   |

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- 1.- Manual de usuario de los Controladores Programables Serie Uno y Serie Uno Plus.
- 2.- Curso introductorio de Adiestramiento para el manejo de los Controladores programables Serie Uno y Uno Plus.
- 3.- Instrumentación Industrial.  
Antonio Creus Sole 2a. edición  
Publicaciones Marcombo S.A.
- 4.- Lógica Digital y Diseño de Computadoras  
M. Morris Mano  
Prentice Hall
- 5.- Digital Computer Process Control  
Smith C. L.  
Intex Educational Publisher (1972)
- 6.- Digital Computer Control  
Astrom  
Prentice Hall (1984)
- 7.- Catalogo Programmable Controller  
Class 8881  
Square D, Company
- 8.- Manual de usuario de los Controladores Programables Serie 90 -30 ( I ).
- 9.- Manual de usuario de los Controladores Programables Serie 90 - 30 ( II ).
- 10.- Manual de usuario de los Controladores Programables Serie 90 - 30 ( III ).
- 11.- Manual de usuario de los Controladores Programables Serie 90 - 30 ( IV ).

**12.- Manual de usuario de los Controladores Programables Serie 90 - 30 ( V ).**

**13.- Manual de usuario de los Controladores Programables Serie 90 - 30 ( VIII ).**

**14.- Manual de usuario de los Controladores Programables Bendix.**