



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

SISTEMA DE CONTROL DE UNA CÁMARA
FRIGORÍFICA UTILIZANDO UN PLC LOGO DE
SIEMENS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

ÁREA: ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

PRESENTAN:

CARRILLO CONTRERAS LEONARDO GABRIEL

Y

ESPINOSA RAMÍREZ MARIO ALBERTO

ASESOR: ING. ENRIQUE GARCÍA GUZMÁN

MÉXICO, 2008





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo a las personas que en algún momento, debido a su continuo apoyo, lograron que fuera posible.

- ❖ *A mis padres: Mario y Leticia.*
- ❖ *A mis hermanos: Erika, Ivan, Andrea.*
- ❖ *A mis abuelos: Elías, María, Bonifacio y Lidia.*
- ❖ *A mis tíos: Elías, Margarita, Homero, Enrique, Angélica, Miguel Ángel, Verónica, Sergio, Martha, Enrique, Alejandra, Roberto, Alicia, Ana, Armando Antonio.*
- ❖ *A mis primos: en general por aceptarme más como un hermano que como primo.*
- ❖ *A Angélica por ser parte central de mi vida en todos los momentos que recuerdo, y que continúa siendo mi punto de apoyo para tratar a diario de ser una mejor persona, tanto en lo personal como profesional.*

A todos gracias, por ser parte de mi vida y no permitir que me sienta solo en ningún momento.

MARIO ALBERTO ESPINOSA RAMIREZ

DEDICATORIA

A mi papa Gabriel Carrillo Ortega †:

Por haberme enseñado a trabajar y siempre haberme apoyado.

A mi mama Ma. Ester Alicia Contreras Cornejo †:

Por haberme apoyado siempre que lo necesite he impulsarme a seguir adelante.

A mi hermano Alejandro Carrillo Contreras:

Por estar siempre conmigo y darme todo su apoyo.

A mi hermano Francisco Carrillo Barajas.

Por haberme apoyado en la realización de este trabajo de tesis.

A Estela Victoriano Domínguez y toda su familia:

Por estar siempre conmigo en los momentos que más la necesitaba.

A mi tía Margarita Carrillo Ortega:

Por todo el amor que me ha dado

A mis familiares:

Por los consejos, críticas y sobre todo cariño...

A Leopoldo Morales López, Aron Morales López y toda su familia:

Por brindarme su amistad y apoyo en los peores momentos.

A todos mis amigos:

Por brindarme su amistad y apoyo durante todo este tiempo.

A mi asesor, Ing. Enrique García Guzmán:

Por haberme apoyado en la realización de este trabajo.

A la UNAM:

Por haberme dado la oportunidad de lograr esta meta.

A todos los profesores de la FES Aragón:

Por compartir tantos conocimientos conmigo...

Índice	Página
Introducción	1
Capítulo I Conceptos básicos de control	
Introducción	5
1.1 Tipos de sistemas de control	6
1.2 Características de un sistema de control	6
1.3 La ingeniería en los sistemas de control	6
1.4 Sistemas lineales y no lineales	7
1.5 Control industrial	8
1.5.1 Sistemas en lazo abierto y lazo cerrado	8
1.5.2 Control analógico y control digital	9
1.6 Componentes y modelos	10
1.6.1 Sensores	11
1.6.2 Sensores de temperatura	12
1.6.3 Sensores de presión	15
1.6.4 Sensores de flujo	19
1.6.5 Sensores de humedad	20
1.6.6 Sensores de posición	26
1.7 Interfaces	27
1.7.1 Conversor analógico-digital	27
1.7.2 Conversor digital-analógico	27
1.7.3 Optoacoplador	28
1.8 Dispositivos de actuación	28
1.8.1 Relevadores	29
1.8.2 Motor eléctrico.	32
1.9 Controladores	35
1.9.1 Tipos de controladores	36
Capítulo II Sistemas de control eléctricos y electrónicos	
Introducción	43
2.1 Control eléctrico	43
2.2. Control eléctrico de motores	46
2.2.1 Control de arranque para motores eléctricos	54
2.3 Diagramas eléctricos	59
2.4. Control electrónico	62
2.4.1 Tiristores y Triac's	62

2.4.2 Sistemas digitales	66
2.4.2.1 Compuertas lógicas	66
2.4.2.2 Circuitos secuenciales	73
2.4.2.3 Dispositivos lógicos programables	79
Capitulo III Características del PLC LOGO y su programación	
Introducción	101
3.1 El PLC	101
3.1.1 Campos de aplicación del PLC	101
3.1.2 Como aplicar un PLC	103
3.2 Descripción y funcionamiento de un PLC	105
3.2.1 Componentes	108
3.2.2 Ciclo de funcionamiento	115
3.3 Lenguajes de programación	116
3.3.1 Lenguaje de programación LADDER	117
3.3.2 Lenguaje de programación Booleano	120
3.3.3 Lenguaje de programación Grafcet	121
3.3.4 Esquema de funciones (FUP)	126
3.4 LOGO! Siemens	128
3.4.1 Características técnicas del LOGO!	130
3.4.2 Programación del LOGO!	131
3.4.2.1 Representación de un bloque en la pantalla del LOGO!	134
3.4.2.2 Del diagrama de Escalera a LOGO!	134
3.4.2.3 Asignar nombre al programa	138
3.5 LOGO! a RUN...	139
3.6 Parametrizar LOGO!	141
3.7 Software LOGO!	142

Capítulo IV Situación actual del sistema de control de un frigorífico y su nueva implementación

Introducción	145
4.1 Refrigeración por compresión de vapor saturado	145
4.1.2 Subutilización del espacio refrigerado	148
4.1.3 Expectativas de almacenamiento del producto fresco	149
4.2 Sistemas de refrigeración en paralelo	150
4.2.1 Control de un sistema de refrigeración en paralelo	151
4.3 Sistemas humidificadores	156
4.3.1 Control de un sistema humidificador por aspersion	159
4.4 Implementación del PLC LOGO! Siemens para el control de un frigorífico...	161
4.4.1 Programación del PLC LOGO! Siemens para el control de un frigorífico	163
4.4.2 Simulación, selección del LOGO! y Generación de reporte	178
Conclusiones	185
Glosario	189
Apéndice	197
Bibliografía	211

Introducción

El presente trabajo de investigación presentado para la obtención del título de Ing. Mecánico Eléctrico; titulado “**Implementación de un PLC en el sistema de control de una cámara frigorífica**” propone una solución a los problemas de control de un sistema frigorífico para almacenamiento de alimentos, resultado de la investigación de sus autores, con el apoyo especial de su director de tesis.

El sistema de control de una cámara frigorífica consta de diferentes elementos de control, como relevadores, presostatos, termostatos, humidostatos, timers para retardo y secuencias de arranque, relojes de deshielo entre otros elementos de control. En su mayoría son elementos electromecánicos; los cuales producen vibraciones, flameo entre platinos etc.; lo cual produce un desgaste mecánico reduciendo la vida útil de estos, a diferencia de un PLC el cual utiliza elementos del tipo sólido. Además de poder controlar las funciones comunes de una cámara frigorífica, se puede implementar el uso del mismo PLC para resolver otros problemas de control que se presentan en el proceso de conservación de alimentos; como es el caso de la dosificación de algún gas para la fumigación del producto o el caso de la aplicación de gas para acelerar el proceso de maduración, con lo cual se lograra mejorar la calidad del producto que se pretenda conservar en refrigeración por determinado tiempo pudiendo incrementar su precio de venta final. Este mismo sistema se puede emplear en otras áreas del control de clima por ejemplo en un laboratorio medico donde las necesidades de tener un control de las condiciones atmosféricas es muy importante y en cualquier proceso industrial donde se requiera un optimo control de las condiciones atmosféricas.

Existen diferentes pilares básicos en los que se asienta este trabajo de los que se destacan los siguientes.

- Control analógico
- Control digital
- Sistemas de control eléctrico
- Sistemas digitales
- Dispositivos lógicos programables
- Controles lógicos programables (PLCs)

Todos estos pilares son tratados con el fin común de obtener los objetivos que más adelante se indican.

El trabajo se ha dividido en 4 capítulos de los cuales el capítulo final constituye el proyecto propuesto en este trabajo, los demás capítulos son la base fundamental para el desarrollo de dicho proyecto.

El primer capítulo, Conceptos básicos de control, constituye una visión de los aspectos básicos necesarios para poder avanzar eficientemente en resto del trabajo.

En segundo capítulo se abordan los sistemas de control eléctricos y electrónicos utilizados para la automatización de un frigorífico, explicando los diferentes elementos que los componen.

En el tercer capitulo explica el funcionamiento básico de un PLC, los diferentes modos de programación que existen para estos dispositivos y sus múltiples aplicaciones.

Por ultimo en el capitulo cuatro se describe el funcionamiento de un frigorífico y de un sistema humidificador, detallando sus sistemas de control convencionales basados en lógica de relevadores y se desarrolla una nueva implementación de control a través de un PLC LOGO! de Siemens unificando los dos sistemas de control.

Objetivo

Explicar de una forma general los sistemas de control utilizados para la automatización de un frigorífico, el funcionamiento y programación de un PLC y la implementación del PLC LOGO de Siemens para este fin.

Objetivos particulares

- Explicar la programación de un PLC LOGO de Siemens
- Reducir costos de instalación, operación y mantenimiento de un frigorífico
- Hacer más competitivos a los pequeños y medianos distribuidores de frutas y alimentos
- Mostrar los beneficios que implica la utilización de un PLC
- Crear un proyecto que sea competitivo en el mercado

Justificación del tema

Implementar un controlador lógico programable o PLC. El cual sustituirá a los dispositivos electromecánicos los cuales están sujetos a un mayor desgaste mecánico. Además de que el PLC tiene mayores ventajas que un sistema diseñado con lógica de relevadores, como son un menor costo de diseño, posibilidad de hacer modificaciones futuras sin un mayor costo, mantenimiento económico, menor espacio de instalación posibilidad de operar más de un equipo con el mismo elemento, con la ventaja de que si en futuro se desea hacer una modificación es mucho mas sencillo y económico reprogramar nuestro PLC que tener que hacer modificaciones a un sistema de control con lógica de relevadores.

Simplificar el diseño instalación y mantenimiento del equipo de control de un frigorífico; ya que con la implementación del PLC nos ahorraremos tiempo y dinero en cableado, sensores y dispositivos de control. Además de ofrecerle al usuario final funciones de valor agregado que difícilmente podría tener a través de un sistema convencional de relevadores, como podría ser la opción de monitorear la temperatura, el nivel de humedad u otro dato que quisiéramos saber de nuestro equipo desde un lugar remoto, ya que los PLC tienen la posibilidad de conectarse a una red.

Difundir el uso del PLC explicando su funcionamiento interno, su programación y los criterios que hay que tomar en cuenta para seleccionar el más adecuado para sus necesidades, además de la infinidad de aplicaciones que van de los más sencillos sistemas de automatización a los más complejos.

CAPÍTULO

I

CONCEPTOS

BÁSICOS

DE

CONTROL

CAPÍTULO 1.

CONCEPTOS BÁSICOS DE CONTROL.

Introducción

Los sistemas de control

Los sistemas de control según la Teoría Cibernética se aplican en esencia para los organismos vivos, las máquinas y las organizaciones. Estos sistemas fueron relacionados por primera vez en 1948 por Norbert Wiener en su obra “*Cibernética y sociedad*” con aplicación en la teoría de los mecanismos de control. Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un modo conveniente para su supervivencia, en la Fig. 1.1 se encuentra representado esquemáticamente un sistema de control.

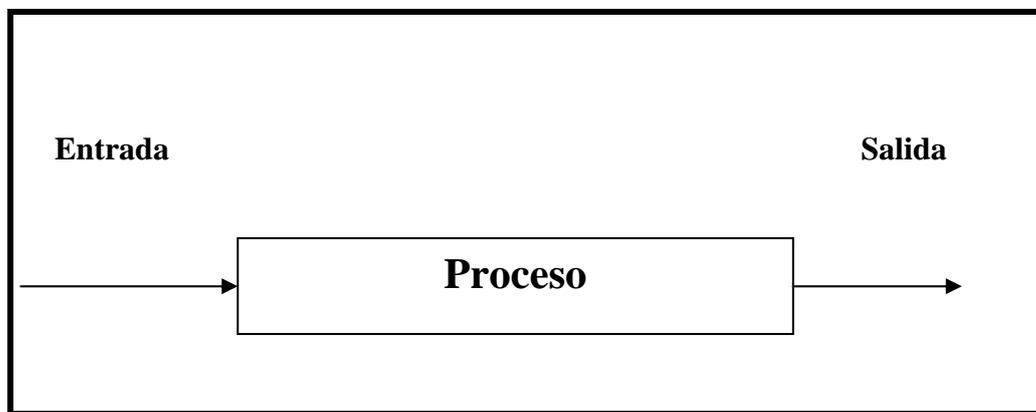


Fig. 1.1 Sistema de control

1.1 Tipos de sistemas de control

Los sistemas de control son agrupados en tres tipos básicos:

Hechos por el hombre. Como los sistemas eléctricos o electrónicos que están permanentemente capturando señales de estado del sistema bajo su control y que al detectar una desviación de los parámetros preestablecidos del funcionamiento normal del sistema, actúan mediante sensores y actuadores, para llevar al sistema de vuelta a sus condiciones operacionales normales de funcionamiento.

Naturales, incluyendo sistemas biológicos. Por ejemplo los movimientos corporales humanos como el acto de indicar un objeto que incluye como componentes del sistema de control biológico los ojos, el brazo, la mano, el dedo y el cerebro del hombre. En la entrada se procesa el movimiento o no, y la salida es la dirección hacia la cual se hace referencia.

Híbridos. Cuyos componentes están unos hechos por el hombre y los otros son naturales. Por ejemplo se encuentra el sistema de control de un hombre que conduce su vehículo, este sistema está compuesto por los ojos, las manos, el cerebro y el vehículo. La entrada se manifiesta en el rumbo que el conductor debe seguir sobre la vía y la salida es la dirección actual del automóvil.

1.2 Características de un sistema de control

Los sistemas de control cuentan con una serie de características determinadas, éstas variarán de acuerdo al tipo de sistema del cual se trate, sin embargo, las siguientes son inherentes a todo sistema de control.

1. Señal de corriente de entrada. Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.

2. Señal de corriente de salida. Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.

3. Variable Manipulada. Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada.

4. Variable Controlada. Es el elemento que se desea controlar.

5. Conversión. Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.

6. Variaciones externas. Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.

7. Fuente de energía. Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.

8. Retroalimentación. La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado.

1.3 La ingeniería en los sistemas de control

Los problemas considerados en la ingeniería de los sistemas de control, básicamente se tratan mediante dos pasos fundamentales como son:

- *Análisis*
- *Diseño*

En el análisis se investigan las características de un sistema existente. Mientras que en el diseño se escogen los componentes para crear un sistema de control que posteriormente ejecute una tarea particular. Existen dos métodos de diseño:

- *Diseño por análisis*
- *Diseño por síntesis*

El *diseño por análisis* modifica las características de un sistema existente o de un modelo estándar del sistema y el *diseño por síntesis* en el cual se define la forma del sistema a partir de sus especificaciones.

La representación de los problemas en los sistemas de control se lleva a cabo mediante tres representaciones básicas o modelos:

- Ecuaciones diferenciales y otras relaciones matemáticas.
- Diagramas en bloque.
- Gráficas en flujo de análisis.

Los diagramas y las gráficas de flujo son representaciones gráficas que pretenden el acortamiento del proceso correctivo del sistema, sin importar si está caracterizado de manera esquemática o mediante ecuaciones matemáticas.

Las ecuaciones diferenciales se emplean cuando se requieren relaciones detalladas del sistema. Cada sistema de control se puede representar teóricamente por sus ecuaciones matemáticas.

Sistemas dinámicos

Un sistema dinámico es un sistema complejo que presenta un cambio o evolución de su estado en un tiempo, el comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta forma se puede elaborar modelos que buscan representar la estructura del mismo sistema.

Al definir los límites del sistema se hace, en primer lugar, una selección de aquellos componentes que contribuyan a generar los modos de comportamiento, y luego se determina el espacio donde se llevará a cabo el estudio, omitiendo toda clase de aspectos irrelevantes.

1.4 Sistemas lineales y no lineales

Sistemas lineales. Son aquellos que hacen uso de funciones lineales. Una función lineal es aquella que satisface la condición de que un solo valor satisface a otro del lado opuesto de la igualdad, es decir, solo existe un resultado para cada ecuación.

Sistemas no lineales. Son aquellos que hacen uso de funciones no lineales. Una función no lineal es aquella donde no existe un valor único para satisfacer la ecuación, es necesario tomar en cuenta las consecuencias de tomar alguno de los resultados posibles.

1.5 Control industrial

El concepto de control es extraordinariamente amplio, abarcando desde un simple interruptor que gobierna el encendido de una bombilla, el termostato de nuestro refrigerador o el grifo que regula el paso del agua en una tubería, hasta el más complejo ordenador de procesos o el piloto automático de un avión.

Podríamos definir el control como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado planta a través de otro sistema llamado sistema de control.

La figura 1.2 muestra esquemáticamente un diagrama de bloques con los dos elementos esenciales: *sistema de control* y *planta*.

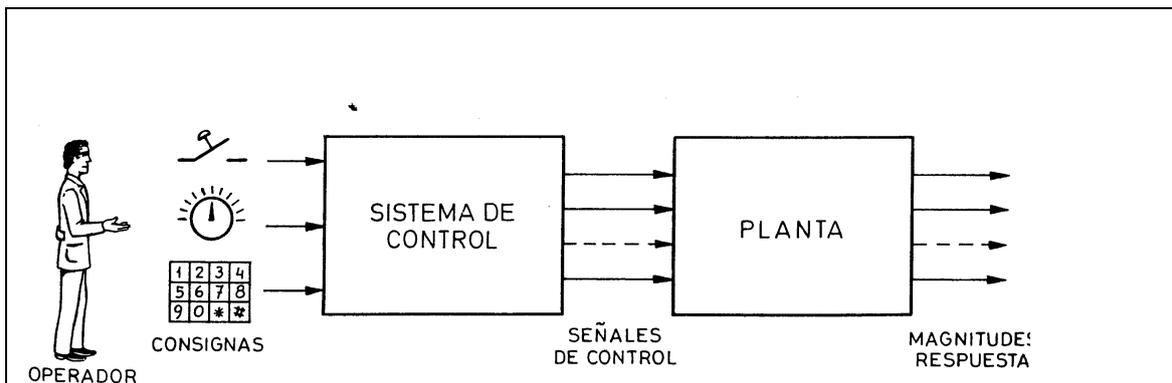


Figura 1.2 Sistema de control.

El objetivo de un sistema de control industrial es el de gobernar la repuesta de una planta o proceso, sin que un operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida.

En el caso más general, podremos dividir el sistema de control en los siguientes bloques:

- Unidad de control
- Accionamientos o actuadores
- Sensores
- Interfaces

1.5.1 Sistemas en lazo abierto y lazo cerrado.

Los sistemas de control pueden ser clasificados de acuerdo a su estructura, en sistemas a lazo abierto y lazo cerrado.

Sistema en lazo abierto. Un sistema en lazo abierto se caracteriza por la falta de atención del operador respecto al proceso, éste da los requerimientos necesarios al sistema para que logre un objetivo, posteriormente acciona los actuadores y el sistema realiza los procesos necesarios para cumplir dichos objetivos.

Sistema en lazo cerrado. Un sistema en lazo cerrado es aquel que realiza medidas sobre la salida real del proceso, y las compara con la salida deseada. El sistema de control realiza los ajustes necesarios a fin de que las diferencias entre la salida real y la deseada se reduzcan al mínimo.

En la figura 1.3 se muestra un sistema de lazo cerrado donde se observa que la señal regresa para ser comparada y de ser necesario reinterpretada.

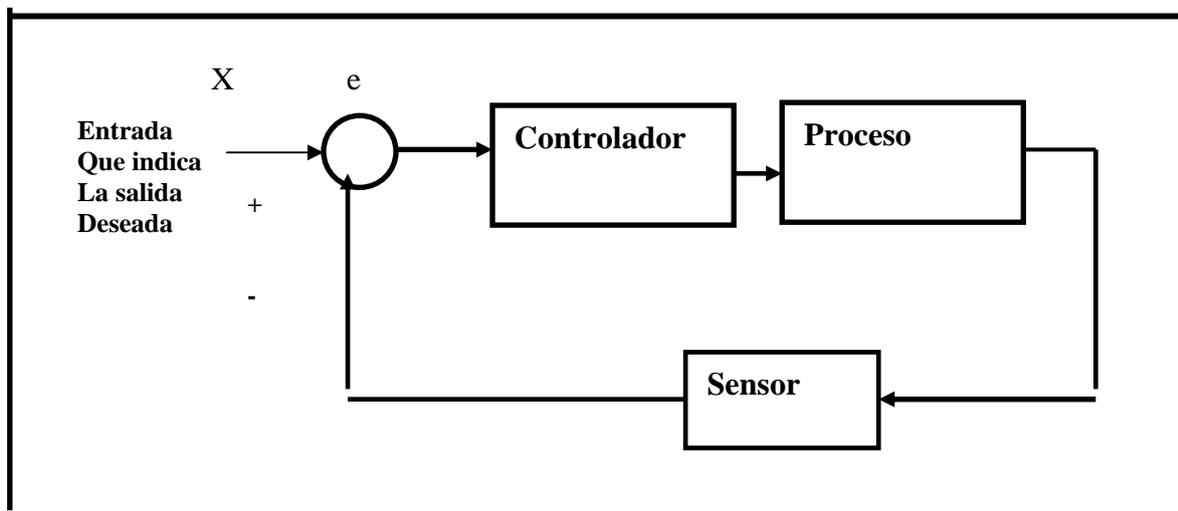


Fig. 1.3 Sistema en lazo cerrado

Observe que la salida real es medida y enviada como realimentación (de ahí el nombre de “control realimentado”), para ser sustraída de la entrada que indica cual es la salida deseada. Si ambas difieren, llega una señal al controlador que le indica que debe emprender alguna acción, con el objetivo de que la salida real varíe, de modo que la diferencia se aproxime a cero.

1.5.2 Control analógico y control digital.

Además de la clasificación de los sistemas de control que ya hemos visto, también podemos agruparlos de acuerdo a las señales con las que trabajan.

Según la naturaleza de las señales que intervienen en un proceso, los sistemas de control pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Sistemas analógicos.
- Sistemas digitales.
- Sistemas híbridos analógico-digitales.
- Algunas mediciones pueden representarse en forma "analógica" o en forma "digital".

El término "Analógico" se refiere a las magnitudes o valores que varían con el tiempo en forma continua como la distancia y la temperatura, la velocidad, que podrían variar muy lento o muy rápido.

Entonces se dice que un sistema es analógico cuando las magnitudes de la señal se representan mediante variables continuas, esto es *análogas* a las magnitudes que dan lugar a la generación de esta señal.

Un sistema analógico contiene dispositivos que manipulan cantidades físicas representadas en forma analógica. En un sistema de este tipo, las cantidades varían sobre un intervalo continuo de valores.

Así, una magnitud analógica es aquella que toma valores continuos.

Una magnitud digital es aquella que toma un conjunto de valores discretos. Las señales digitales, en contraste con las señales analógicas, no varían en forma continua, sino que cambian en pasos o en incrementos discretos. La mayoría de las señales digitales utilizan códigos binarios o de dos estados.

Si los sensores o dispositivos de actuación de un sistema de control generan o hacen uso de señales analógicas, pero, por su parte, el controlador necesita señales digitales, el acondicionamiento o preparación de la señal requiere, para pasar del uno, se denomina conversión analógico-digital, o, a la inversa, digital-analógica. Los dispositivos que la realizan se les llama convertidores.

Con la tecnología analógica es más difícil almacenar, manipular, comparar, calcular y recuperar información con exactitud, en cambio en la tecnología digital (computadoras), se pueden hacer tareas muy rápidamente, muy exactas, muy precisas y sin detenerse.

1.6 Componentes y modelos.

En los sistemas de control industrial encontramos frecuentemente una variedad de componentes o subsistemas de tipo mecánico, hidráulico, neumático y eléctrico.

Hablamos entonces de sistemas que combinan múltiples tecnologías, haciendo necesario un lenguaje común para la integración óptima de todas ellas en un sistema.

A nivel físico la unión entre dichos subsistemas tecnológicamente diversos, la realizan los sensores e interfases. Pero al nivel de representar su comportamiento, el diseñador necesita un modelo independiente de la tecnología que le permita tratar a todos ellos con una metodología común, sea cual sea su principio tecnológico.

El modelo permite tratar a cada componente o subsistema como una “caja negra” a la cual se asocia una función de transferencia que relacione las magnitudes de salida de interés con las magnitudes de entrada y que, por tanto, permita predecir su comportamiento una vez conocido su estado inicial y las señales de entrada aplicadas.

Este enfoque nos permitirá, pues, tratar cualquier sistema o parte del mismo mediante un diagrama de bloques, que permite representar mediante un simbolismo común elementos de diversas tecnologías, que a pesar de su diversa índole aparecerán para el diseñador como homogéneos.

Ver en el apéndice A.1

De forma análoga, los sistemas analógicos pueden tratarse mediante funciones algebraicas continuas que relacionan magnitudes de salida con las de entrada. Las herramientas matemáticas para el tratamiento de estos sistemas son básicamente la transformada de Laplace, para sistemas analógicos y la transformada en z, para sistemas digitales muestreados.

Los métodos del álgebra de Boole. La transformada de Laplace y la transformada en z, son herramientas matemáticas imprescindibles para abordar el diseño de sistemas de control, pero no es imprescindible su conocimiento para comprender el funcionamiento de los sistemas automatizados.

1.6.1 Sensores.

La primer función de un sistema de control consiste en reconocer las entradas procedentes del proceso y del entorno externo, a través de detectores o sensores. Los sensores son transductores que convierten la información física real, como presión, temperatura, tasa de flujo, humedad, posición, etc.; en señales de tipo eléctrico. Estas señales eléctricas están relacionadas con las variables físicas que representan de un modo conocido, de manera que pueden utilizarse para supervisar y controlar el proceso.

El sensor ideal debe de ser de un tamaño reducido, resistente, fiable y tener un bajo costo.

Los sensores suelen clasificarse en función de lo que midan, con frecuencia es necesario el conocimiento de una o más de estas magnitudes.

- Flujo.
- Temperatura.
- Presión.
- Velocidad.
- Humedad.
- Posición.
- Luz.
- Entre otras más.

A continuación daremos la descripción de los sensores que más comúnmente se utilizan en los sistemas de automatización, ya que es necesario conocer sus características para poder hacer la selección del más apropiado a nuestras necesidades.

1.6.2 Sensores de temperatura.

La temperatura es muy importante en diversos procesos industriales por lo que es necesario, poder controlarla, lo más exactamente posible. Los tres sensores más utilizados actualmente son *el termopar*, *el termistor* y *el RTD*.

Termopar. Un termopar es un circuito formado por dos metales distintos que produce un voltaje siempre y cuando los metales se encuentren a temperaturas diferentes. Ver figura 1.4

En electrónica, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son baratos, intercambiables, tienen entradas estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado centígrado son difíciles de obtener.

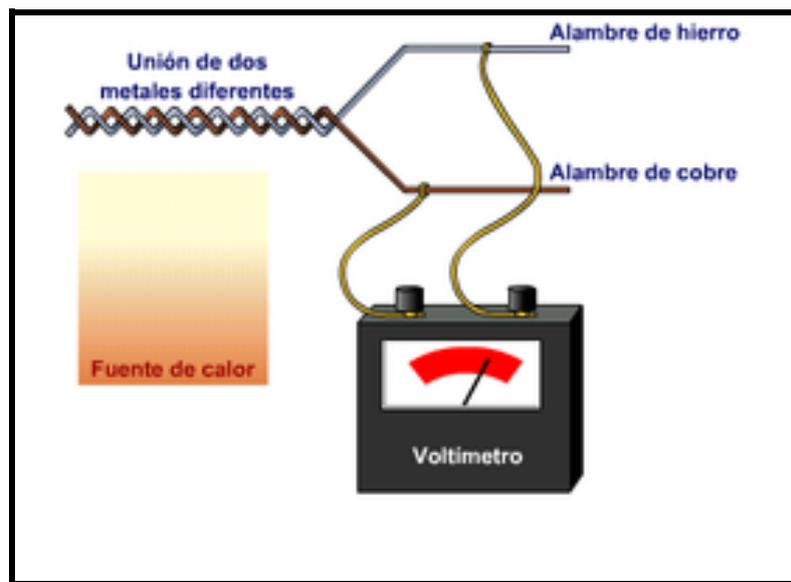


Fig. 1.4 Diagrama de funcionamiento del termopar

Precauciones y consideraciones al usar termopares.

La mayor parte de los problemas de medición y errores con los termopares se deben a la falta de conocimientos del funcionamiento de los termopares. A continuación, un breve listado de los problemas más comunes que deben tenerse en cuenta.

Problemas de conexión.

La mayoría de los errores de medición son causados por uniones no intencionales del termopar. Se debe tener en cuenta que cualquier contacto entre dos metales distintos creará una unión. Si lo que se desea es aumentar la longitud de las guías, se debe usar el tipo correcto del cable de extensión.

Para minimizar la desviación térmica y mejorar los tiempos de respuesta, los termopares están integrados con delgados cables. Esto puede causar que los termopares tengan una alta resistencia, la cual puede hacer que sea sensible al ruido y también puede causar errores debidos a la resistencia del instrumento de medición.

Descalibración. La descalibración es el proceso de alterar accidentalmente la conformación del cable del termopar. La causa más común es la difusión de partículas atmosféricas en el metal a los extremos de la temperatura de operación. Otras causas son las impurezas y los químicos del aislante difundiendo en el cable del termopar.

Ruido. La salida de un termopar es una pequeña señal, así que es propenso a absorber ruido eléctrico. La mayoría de los instrumentos de medición rechazan cualquier modo de ruido (señales que están en el mismo cable o en ambos) así que el ruido puede ser minimizado al retorcer los cables para asegurarse que ambos recogen la misma señal de ruido. Si se opera en un ambiente extremadamente ruidoso.

Voltaje en Modo Común. Aunque las señales del termopar son muy pequeñas, voltajes mucho más grandes pueden existir en la salida del instrumento de medición. Estos voltajes pueden ser causados tanto por una recepción inductiva o por las uniones a conexiones terrestres.

Desviación térmica. Al calentar la masa de los termopares se extrae energía que afectará a la temperatura que se trata determinar.

Termistor

Un termistor es una resistencia eléctrica que varía su valor en función de la temperatura. Existen dos clases de termistor: NTC y PTC.

Termistor NTC. Un Termistor (*Negative Temperature Coefficient*) es una resistencia variable cuyo valor va decreciendo a medida que aumenta la temperatura. Son resistencias de coeficiente de temperatura negativo, constituidas por un cuerpo semiconductor cuyo coeficiente de temperatura es elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura.

Se emplean en su fabricación óxidos semiconductores de níquel, zinc, cobalto, etc.

La relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial, ver figura 1.5

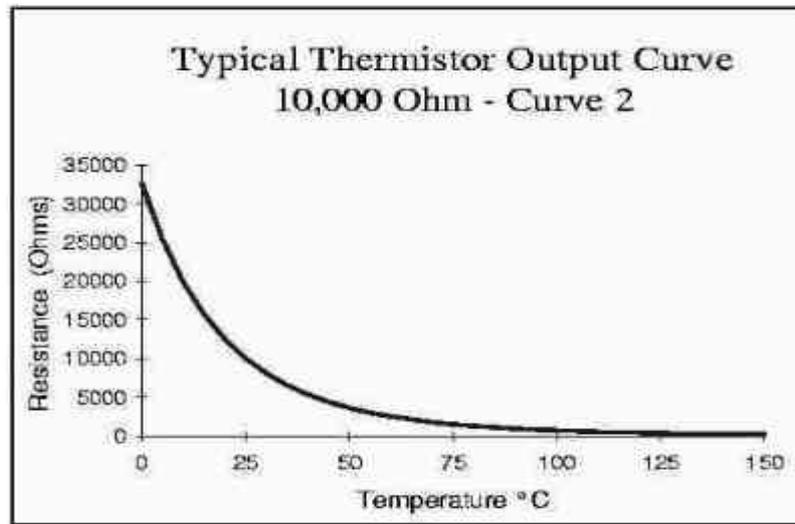


Fig. 1.5

La característica tensión-intensidad (V/I) de un termistor NTC presenta un carácter peculiar ya que, cuando las corrientes que lo atraviesan son pequeñas, el consumo de potencia ($R * I^2$) será demasiado pequeño para registrar aumentos apreciables de temperatura, o lo que es igual, descensos en su resistencia óhmica; en esta parte de la característica, la relación tensión-intensidad será prácticamente lineal y en consecuencia cumplirá la ley de Ohm.

Termistor PTC. Un termistor (*Positive Temperature Coefficient*) es una resistencia variable cuyo valor se ve aumentado a medida que aumenta la temperatura.

Los termistores PTC se utilizan en una gran variedad de aplicaciones: limitación de corriente, sensor de temperatura, desmagnetización y para la protección contra el recalentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utilizan en indicadores de nivel, para provocar retardos en circuitos, como termostatos, y como resistores de compensación.

El termistor PTC pierde sus propiedades y puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llega a ser demasiado alta.

Las aplicaciones de un termistor PTC están, por lo tanto, restringidas a un determinado margen de temperaturas.

RTD (Dispositivo de temperatura resistiva)

Los RTD son sensores de temperatura resistivos. En ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan. Este aumento viene expresado como:

$$R = R_0 \left[1 + AT + BT^2 - 100CT^3 + CT^4 \right]$$

donde:

R es la resistencia a una temperatura de T °C

R₀ es la resistencia a 0°C

T es la temperatura

Este efecto suele aproximarse a un sistema de primer o segundo orden para facilitar los cálculos. Los sensores RTD suelen ir asociados a montajes eléctricos tipo Puente de Wheatstone, que responden a la variación de la resistencia eléctrica por efecto de la temperatura para originar una señal analógica de 4-20 mA que es la que se utiliza en el sistema de control correspondiente como señal de medida.

Pt100. Un tipo de RTD son las Pt100. Estos sensores deben su nombre al hecho de estar fabricados de platino (Pt) y presentar una resistencia de 100ohms a 0°C. Son dispositivos muy lineales en un gran rango de temperaturas, por lo que suele expresarse su variación como:

$$R = R_0(1 + \alpha(T^a - T_0^a))$$

Donde T^a es una temperatura de referencia y R₀ es la resistencia a esa temperatura.

1.6.3 Sensores de presión.

Es muy común la necesidad de medir la presión en diferentes procesos. Para realizar estas medidas se dispone de diversos dispositivos.

Barómetro anerode. Un barómetro anerode está formado por una cámara hecha de material rígido, excepto por uno de sus extremos, que consiste en una lamina flexible muy fina. Se extrae el aire de la cámara y a continuación se sella. Esta lamina, denominada diafragma, se deforma de acuerdo a la presión que se ejerza sobre ella. A fin de poder ser utilizable por un sistema de control, es necesario algún medio para convertir esta deformación en una señal eléctrica. Ver la figura 1.6

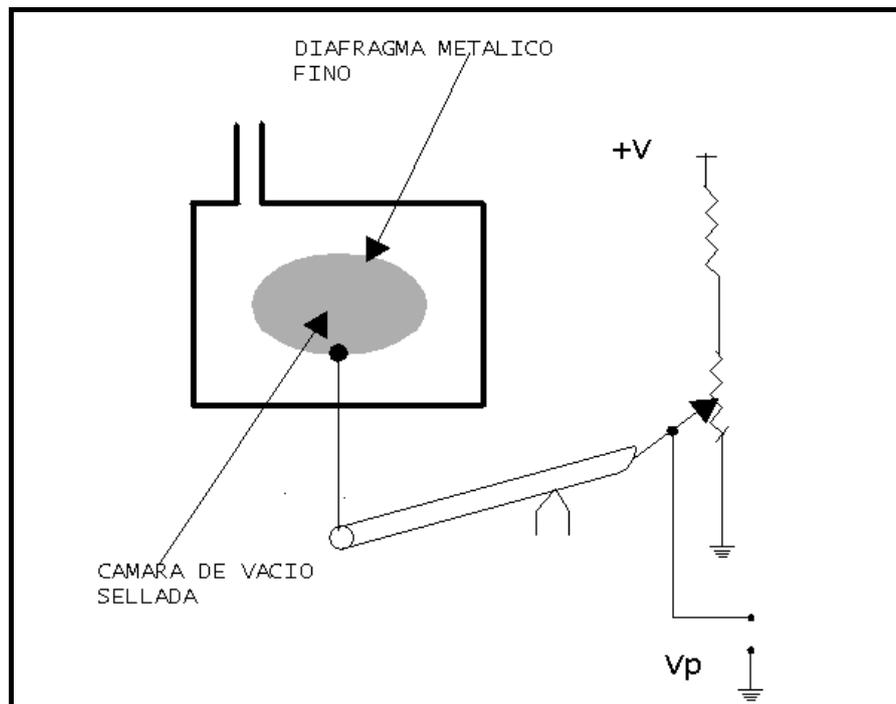


Fig. 1.6 Barómetro con potenciómetro.

Sensor de presión capacitivo. En la figura 1.7 puede verse otro tipo de sensor que también hace uso de una cámara de vacío, esta vez con dos diafragmas que hacen el papel de placas de un condensador. Estas placas están aisladas de la cámara por un material dieléctrico no conductor. A medida que las placas se deforman por efecto de las variaciones en la presión, también lo hace la capacitancia del condensador, debido a que varía la distancia entre ellas. Es posible medir la capacitancia enviando al sensor una señal de amplitud y frecuencia conocidas. A medida que la capacitancia varía, también lo hace de forma proporcional, el voltaje de salida. Si hacemos pasar este por un demodulador y un detector de fase, podemos obtener una tensión de salida proporcional a la presión.

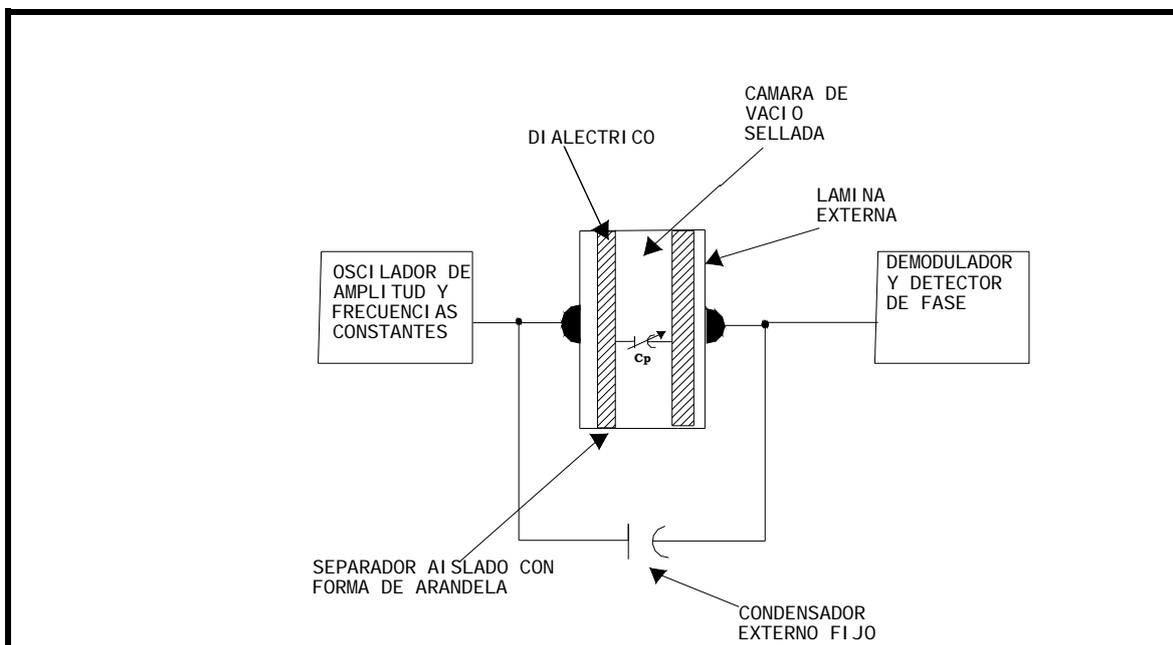


FIG. 1.7 Sensor de presión capacitivo.

Sensor de presión por medición de torsión de estado sólido. Los sensores fabricados mediante tecnología de semiconductores, además de tener un tamaño reducido, proporcionan una mayor fiabilidad a un menor costo. Este sensor también consta de una cámara de vacío, pero, en lugar de hacer uso de un potenciómetro, utiliza una piezorresistencia. La piezorresistencia está situada directamente sobre la lámina flexible que cubre una de las superficies de la cámara de vacío, tal como se observa en la figura 1.8, de modo que no es necesaria ninguna conexión de tipo mecánica: El circuito que permite obtener la señal de voltaje que el controlador necesita puede verse también en la figura 1.8. Mediante un amplificador integrado, que puede ir montado con la piezorresistencia formando un dispositivo único, puede amplificarse la caída de tensión en la misma.

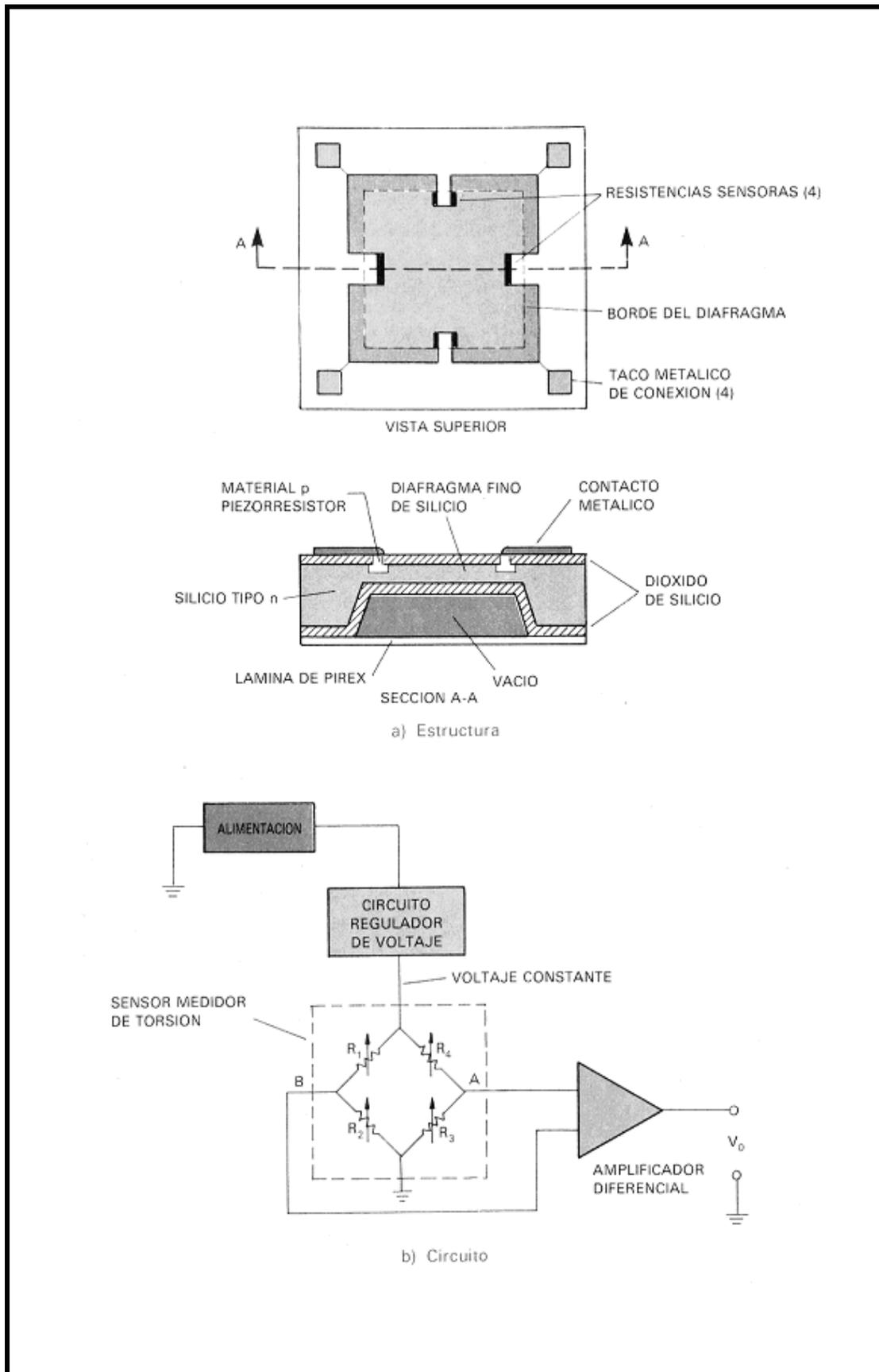


Fig. 1.8 Sensor de presión por medición de torsión de estado sólido.

1.6.4 Sensores de flujo.

Existen diferentes métodos para medir un flujo o caudal, los cuales se basan en los siguientes principios.

- Detección por presión estática (efecto Venturi)
- Detección por presión dinámica sobre un flotador o pistón.
- Detección de velocidad por inducción electromagnética
- Detección volumétrica mediante turbina.

Venturi. Un venturi es una tubería con un estrangulamiento, cuyo funcionamiento esta basado en el principio de Bernoulli. Se deduce entonces que la diferencia entre la presión en el estrangulamiento y la presión en un punto cualquiera situado contra corriente es proporcional a la velocidad del fluido. Además, puesto que se conocen los diámetros tanto del conducto como de estrangulamiento, es posible determinar la masa del fluido.

Turbina. En este caso, se sitúa un rotor en el interior del conducto por el cual pasa el fluido. El eje de la turbina, que llega hasta el exterior del conducto, mueve un generador que proporciona una tensión de salida proporcional a la velocidad: Puesto que se conoce cual es la tensión de salida, en función de la velocidad es posible determinar el flujo. En la figura 1.9a y 1.9b se presenta este principio.

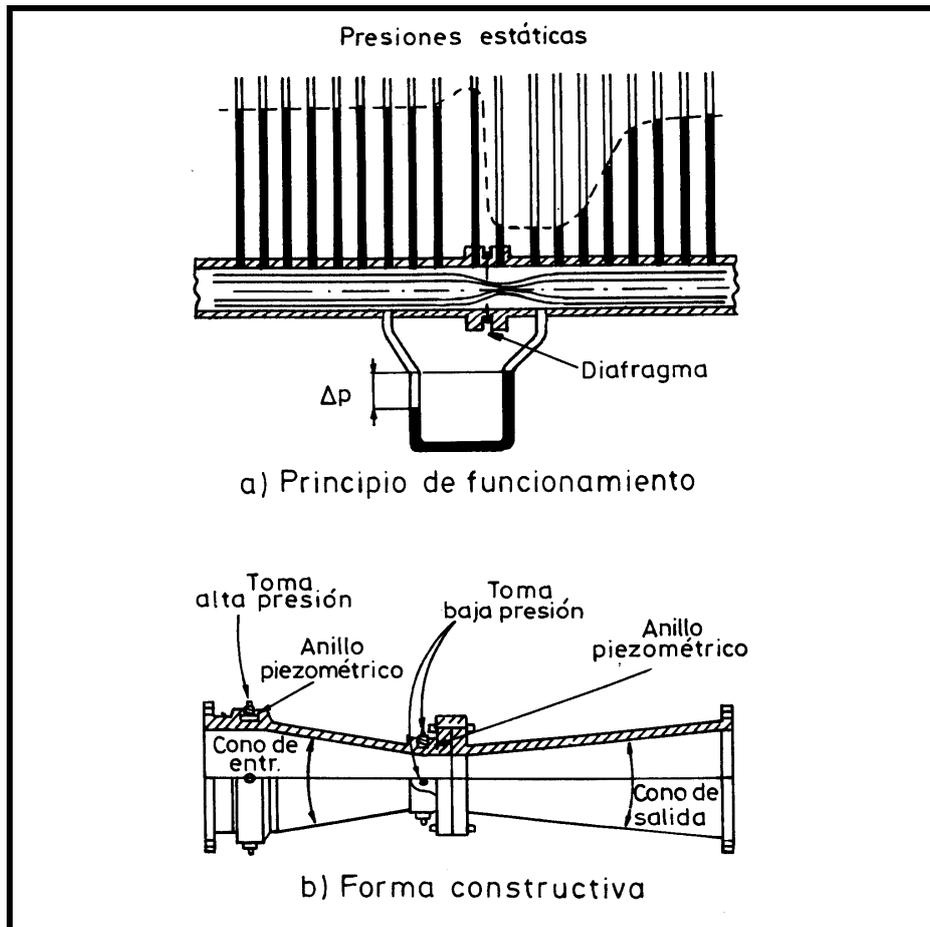


Fig. 1.9 Sensor de efecto venturi.

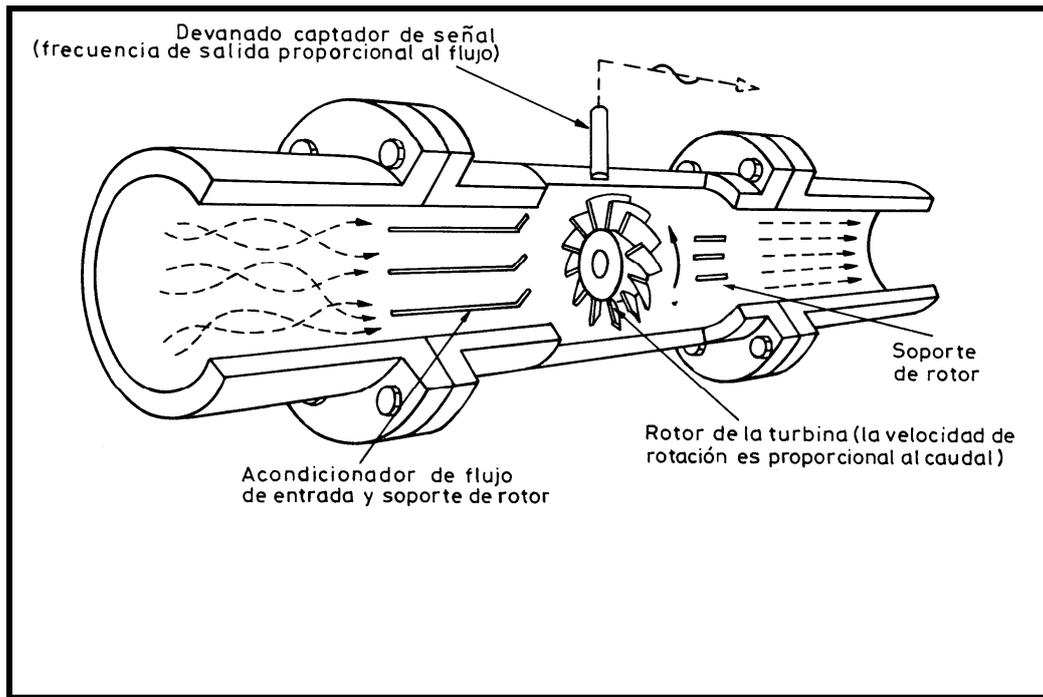


Fig. 1.9b Sensor de efecto turbina.

1.6.5 Sensores de humedad.

La medición de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor debe estar en contacto con el ambiente de proceso a diferencia de los sensores de presión y temperatura que invariablemente se encuentran aislados del proceso por protecciones conductoras del calor o diafragmas respectivamente. Esto tiene, por supuesto, implicancias en la contaminación y degradación del sensor en niveles variables dependiendo de la naturaleza del ambiente.

Sensores por desplazamiento.

Es quizás el tipo de sensor más antiguo y de uso común, utiliza un mecanismo para medir la expansión o contracción de un cierto material que es proporcional a los cambios en el nivel de humedad relativa. Los materiales más comunes son el nylon y la celulosa. Las ventajas de este tipo de sensor son el bajo costo de fabricación y es altamente inmune a la contaminación. Las desventajas son la tendencia a la descalibración en el tiempo y los efectos de histéresis significativos.

Sensores capacitivos.

Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) están diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causan una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo que resulta una impedancia que varía con la humedad.

El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite a el vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor.

Este tipo de sensor es especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas. Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores al 85%, sin embargo, el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal. Ver figura 1.10

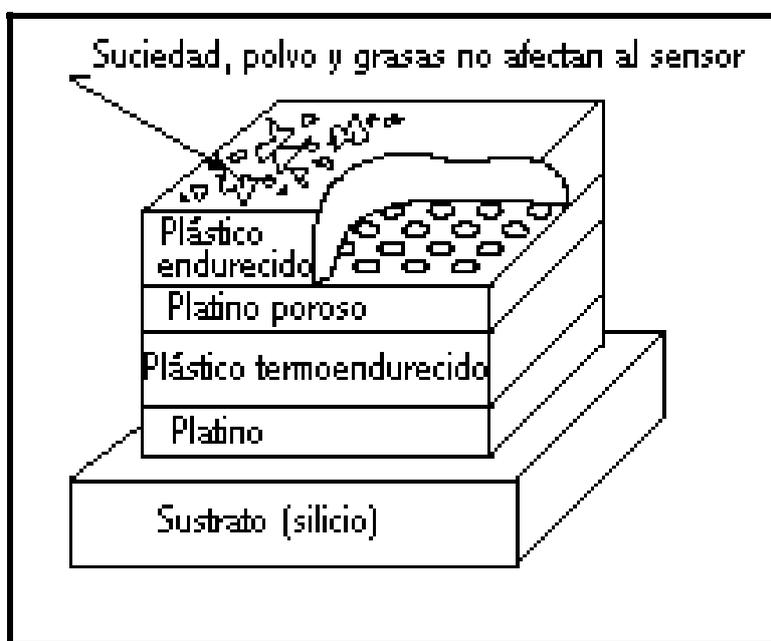


Fig. 1.10 Esquema de un sensor capacitivo

Efectos de la temperatura y la humedad.

La salida de todos los sensores de humedad por absorción (capacitivos, resistivos, etc.), se ven afectados sensiblemente por la temperatura y la humedad relativa. A causa de esto se utilizan mecanismos de compensación de temperatura en aplicaciones que demanden alto nivel de precisión o un amplio rango de temperaturas.

Cuando se compensa la temperatura de un sensor lo mejor es hacer la medición de temperatura tan cerca como sea posible de área activa del sensor, esto es en el mismo micro-ambiente. Esto es especialmente verdad cuando se combina la medición de RH y temperatura par derivar el punto de rocío.

Los instrumentos de tipo industrial para medir humedad y punto de rocío incorporan una resistencia de platino (RTD) en la parte posterior del sustrato del sensor para la integridad de la compensación de la diferencia de temperaturas. Para estos sensores de alta temperatura no se proveen los circuitos electrónicos de acondicionamiento de señal. Ver figura 1.11

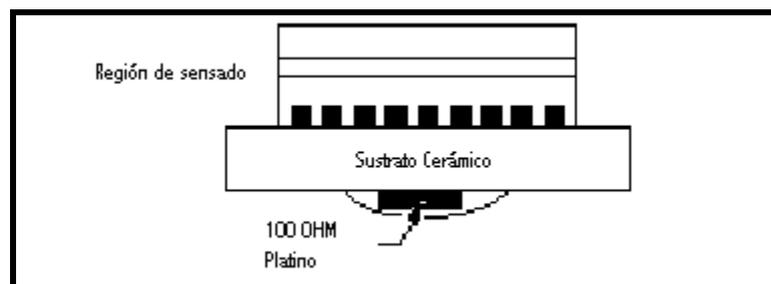


Fig. 1.11 Sensor capacitivo

Las aplicaciones típicas para los polímeros resistivos y capacitivos son

- HVAC administración de energía
- Control de salas de computadora / ambientes limpios
- Instrumentos portátiles
- Monitoreo ambiental y meteorológico

Humedad relativa calculada con el punto de rocío y la temperatura

Un transmisor óptico de punto de rocío con el agregado de medición de temperatura podría utilizarse para obtener un valor de humedad relativa de alta precisión. Este sería un costoso método para derivar un valor de una medición primaria.

Sensor de sal saturada de cloruro de litio.

El sensor de sal saturada de cloruro de litio ha sido uno de los sensores de punto de rocío más ampliamente usado. Su popularidad es resultado de su simplicidad, bajo costo, durabilidad, y el hecho de que provee una medición fundamental. El sensor consiste de una bobina recubierta con una tela absorbente y un arrollamiento de electrodos bifilares inertes. La bobina es revestida con una solución diluida de cloruro de litio. Un corriente alterna se hace pasar por el arrollamiento y la solución salina causando calentamiento por efecto joule. A medida que la bobina eleva su temperatura el agua de la sal se evapora a una tasa que es controlada por la presión de vapor de agua en el aire circundante. Cuando la bobina comienza a secarse, la resistencia de la solución salina se incrementa produciendo una disminución de la corriente que enfría la bobina. Este efecto de calentamiento y enfriamiento continúa hasta alcanzar un punto de equilibrio en el que no hay intercambio de agua con el ambiente. Esta temperatura de equilibrio es directamente proporcional a la presión de vapor de agua o el punto de rocío del aire circundante. Este valor es medido utilizando un termómetro de resistencia de platino (PRT) Ver figura 1.12

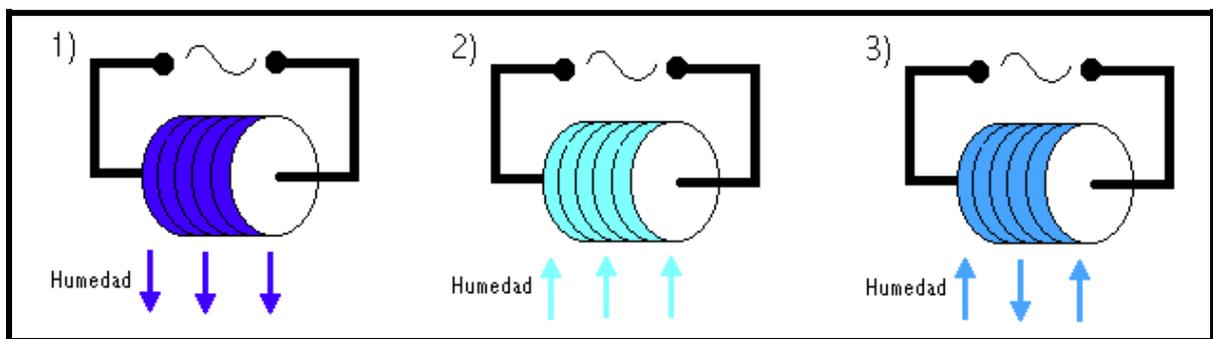


Fig. 1.12 Sensor de sal saturada de cloruro de litio

Si el sensor de sal saturada se contamina puede fácilmente hacerse una recarga de cloruro de litio. Las limitaciones de esta tecnología son un relativamente bajo tiempo de repuesta y el límite inferior del rango de medición impuesto por la naturaleza del cloruro de litio. El sensor no puede usarse para medir puntos de rocío cuando la presión de vapor de agua cae por debajo de la presión de saturación de vapor del cloruro de litio que ocurre cerca del 11% de humedad relativa. Los sensores de sal saturada resultan atractivos cuando el bajo costo, la resistencia ambiental, el bajo tiempo de respuesta y la moderada precisión son requeridos.

Las aplicaciones típicas de estos sensores son:

- Controles de refrigeración
- Secadores
- Dehumificadores
- Monitorio de líneas de suministro de aire
- Equipos envasadores de píldoras
- Para aplicaciones que requieren una gran precisión y un amplio rango de mediciones se deben considerar sensores del tipo electrolítico de condensación basado en óxidos.

Higrómetro óptico de condensación.

El higrómetro óptico es considerado el método más preciso para la medición del punto de rocío. Esta es una medición primaria, que mide, como su nombre indica, el punto efectivo de condensación del gas ambiente y para el que se pueden con facilidad establecer estándares internacionales de calibración. El sensor contiene un pequeño espejo metálico cuya superficie es enfriada hasta que el agua de la muestra de gas condense. El espejo es iluminado por una fuente de luz y su reflexión es detectada por un fototransistor. Cuando la condensación ocurre la luz reflejada sufre una dispersión y por lo tanto disminuye la intensidad captada por el detector. Un sistema de control se encarga de mantener la temperatura de espejo en el punto necesario para mantener una delgada capa de condensación.

Con el higrómetro óptico son posibles precisiones de $\pm 0.2^\circ$. Ciertos equipos especiales pueden tener un rango completo desde -85° hasta casi 100° de punto de rocío. Los tiempos de respuesta son rápidos y la operación está relativamente libre de problemas de pérdida de calibración. Ver figura 1.13a y 1.13b

Las aplicaciones típicas de los higrómetros ópticos de condensación son:

- Líneas de aire medicinal
- Equipo electrónico refrigerado con líquido
- Computadoras refrigeradas
- Hornos de tratamiento térmico
- Hornos de fundición
- Control ambiental de recintos
- Secadores
- Estándares de calibración de humedad

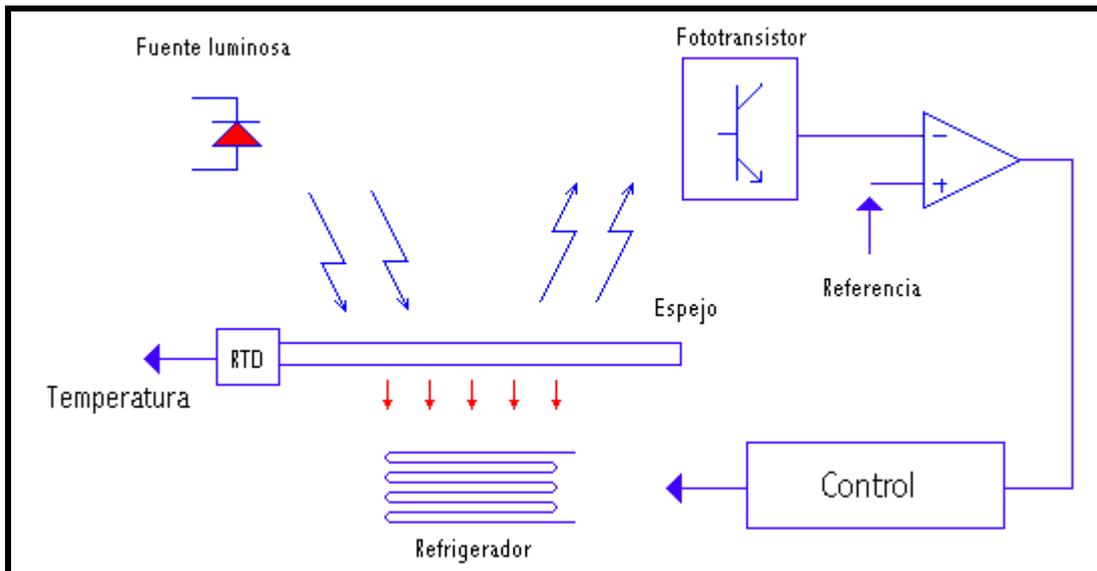


Fig. 1.13a Higrómetro óptico cuando empieza la medición

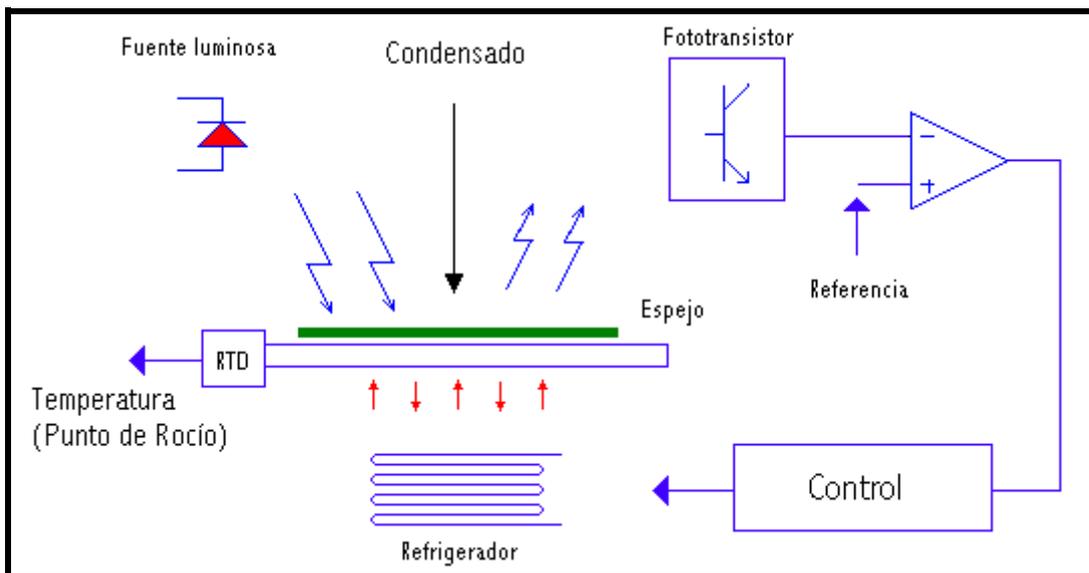


Fig. 1.13b Higrómetro óptico cuando alcanza el punto de medición

16.6 Sensores de posición.

Uno de los sensores de posición más sencillos, pero que aun es uno de los más usados, es el interruptor delimitador activado de forma mecánica. El cierre o la apertura de este tipo de contactos se utiliza para indicar una posición, pero para que algo los active es necesario un contacto físico: este puede resultar satisfactorio en algunas aplicaciones, pero en otras no resulta deseable, e incluso no es posible permitirlo. En estos casos se hace necesario el uso de sensores de posición que no necesiten de un contacto físico como el optointerruptor.

Optointerruptor: Existen varios de tipos de optointerruptor, que hacen uso de técnicas fotoeléctricas para la detección de la posición en la figura 1.14 se muestran los dos tipos básicos. Uno de ellos funciona interrumpiendo un haz de luz directo, mientras el otro lo hace con un haz de luz reflejado, pero el modo de funcionamiento es el mismo. El emisor de luz, bien de luz visible o infrarroja, suele ser en diodo LED. Un sensor detecta la luz y produce una salida: El sensor puede ser un transistor fotosensible (fotosensor), que conduce cuando se hace incidir sobre él energía luminosa.

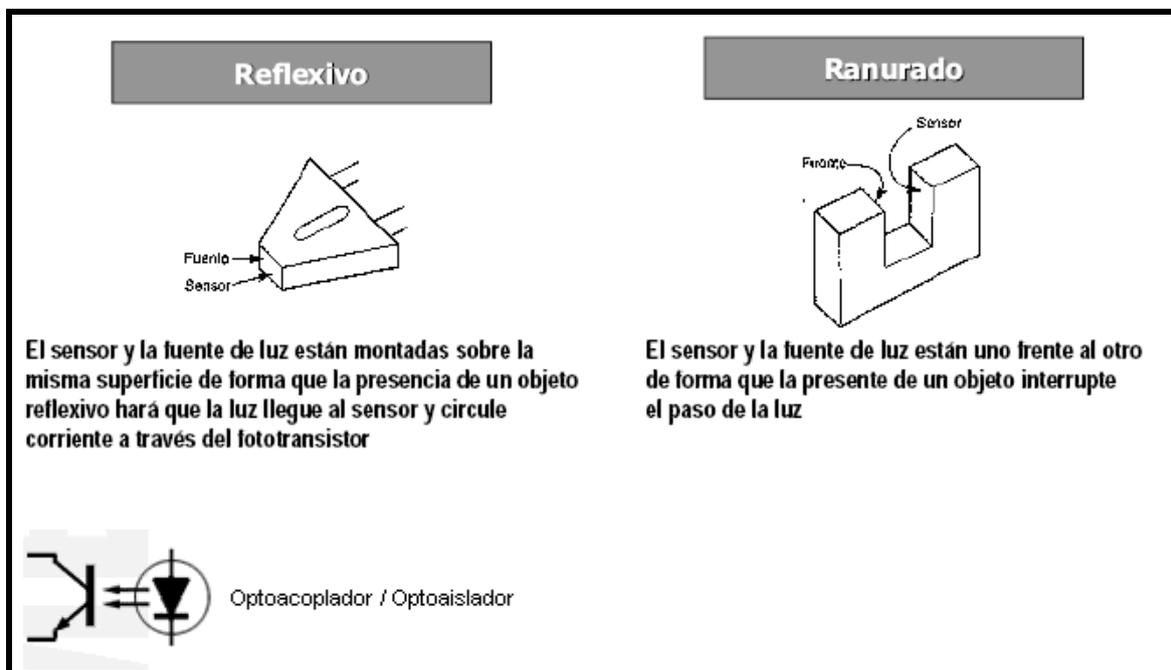


Fig. 1.14 Optointerruptor.

1.7 Interfaces.

El segundo tipo de funciones generales consiste en alguna clase de acondicionamiento de la señal. Con frecuencia sucede que la señal eléctrica producida por el sensor no esta en una forma utilizable directamente por el controlador: Una técnica muy común es de preparación de la señal es la amplificación de la misma, ya que es posible que la señal no tenga la tensión, la intensidad o la amplitud requerida: Otra técnica frecuente es el filtrado de la señal, afín de conseguir la frecuencia deseada. Cuando se utiliza un controlador digital como los PLC, puede ser necesario cambiar la señal analógica a una digital.

Asimismo, las señales eléctricas de salida procedentes del controlador necesitan a menudo un acondicionamiento en lo que afecta a la amplitud, forma o modo de actuar sobre los dispositivos de actuación.

1.7.1 Conversor analógico-digital.

Un conversor analógico-digital es un dispositivo electrónico capaz de convertir un voltaje determinado en un valor binario, en otras palabras, este se encarga de transformar señales análogas a digitales (0's y 1's).

Poseen dos señales de entrada llamadas V_{ref+} y V_{ref-} y determinan el rango en el cual se convertirá una señal de entrada.

Conversor flash.

Este conversor destaca por su elevada velocidad de funcionamiento. Está formado por una cadena de divisores de tensión y comparadores, realizando la conversión de manera inmediata en una única operación. Su principal desventaja es el elevado coste.

1.7.2 Conversor digital-analógico

Un conversor digital analógico o DAC (Digital to Analogue Converter) es un dispositivo para convertir datos digitales en señales de corriente o de tensión analógica.

La mayoría de los DAC utilizan alguna forma de red reostática. Los datos digitales se aplican a los reóstatos en grupos de bits. Las resistencias varían en proporciones definidas y el flujo de corriente de cada uno está directamente relacionado con el valor binario del bit recibido.

1.7.3 Optoacoplador.

Un optoacoplador, también llamado optoaislador o acoplador óptico, es un componente electrónico formado por la unión de un diodo LED o un IRED y un fototransistor, fotodiodo, LASCR o fotodarlington acoplados a través de un medio conductor de luz y encapsulados en una cápsula cerrada y opaca a la luz.

Cuanta mayor corriente eléctrica atraviese al dispositivo emisor, mayor será la cantidad de fotones emitidos y, por tanto, mayor será la corriente eléctrica que recorra el dispositivo detector. Se trata de una manera de transmitir una señal de un circuito eléctrico a otro. Ver figura 1.15

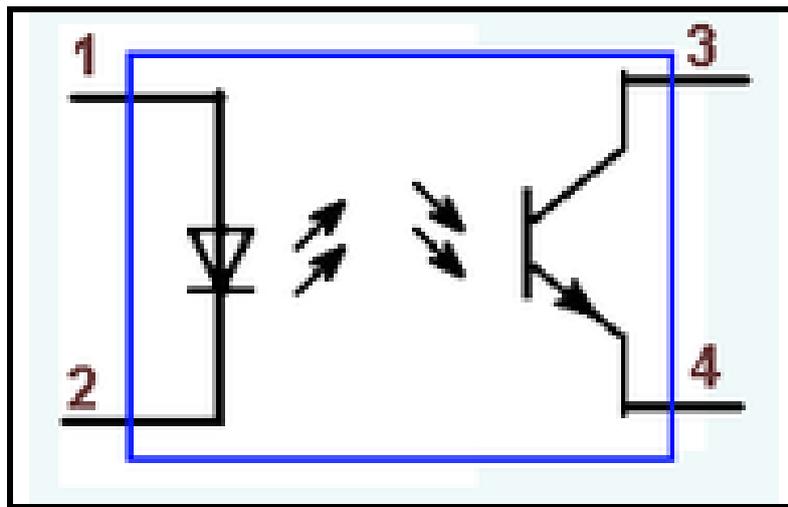


Fig. 1.15 Esquema de un optoacoplador con Fototransistor

Usos.

Una de las más importantes es el aislamiento eléctrico entre circuitos.

1.5.3 Dispositivos de actuación.

También conocidos como actuadores, convierten una señal de control eléctrica en una acción física. Los actuadores de uso más común son:

- Válvulas de control de flujo.
- Motores de velocidad Variable.
- Motores pasó a paso.
- Frenos.
- Embragues.
- Solenoides.
- Conmutadores paso a paso.
- Relevadores de potencia.

A continuación haremos una breve explicación de algunos de estos actuadores, para conocer su funcionamiento y aplicaciones, para poder hacer un correcto uso y selección de estos.

1.8.1 Relevadores.

El relé (del inglés "relay") es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Los contactos de un relé pueden ser Normalmente Abiertos (NO, por sus siglas en inglés), Normalmente Cerrados (NC) o de conmutación.

Los contactos Normalmente Abiertos conectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se desconecta cuando el relé está inactivo. Este tipo de contactos son ideales para aplicaciones en las que se requiere conmutar fuentes de poder de alta intensidad para dispositivos remotos.

Los contactos Normalmente Cerrados desconectan el circuito cuando el relé es activado; el circuito se conecta cuando el relé está inactivo. Estos contactos se utilizan para aplicaciones en las que se requiere que el circuito permanezca cerrado hasta que el relé sea activado.

Los contactos de conmutación controlan dos circuitos: un contacto Normalmente Abierto y uno Normalmente Cerrado con una terminal común.

En la *Figura 1.16* se puede ver el aspecto de algunos relevadores, de lado izquierdo se encuentran los que se utilizan para pequeñas potencias y del lado derecho los que se aplican en altas potencias (contactores).



Fig.1.16 Relevadores de potencia.

En la *Figura 1.17* se representa, de forma esquemática, la disposición de los elementos de un relé de un único contacto de trabajo.

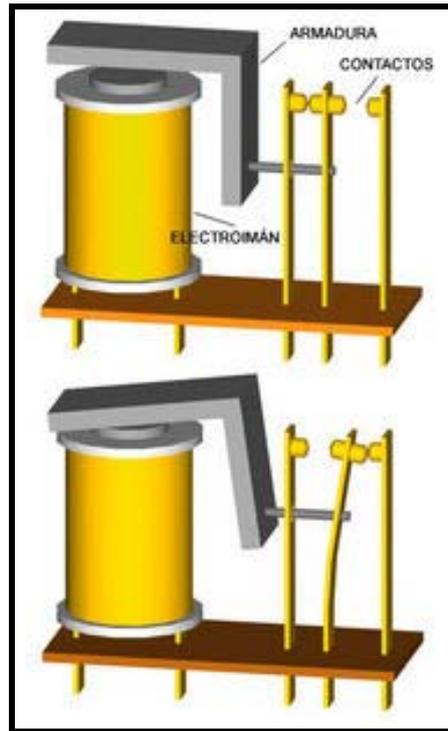


Fig. 1.17 Esquema de funcionamiento de un relé.

Se denominan contactos de trabajo aquellos que se cierran cuando la bobina del relé es alimentada y contactos de reposo a los cerrados en ausencia de alimentación de la misma.

Existen multitud de tipos distintos de relés, dependiendo del número de contactos, intensidad admisible por los mismos, tipo de corriente de accionamiento, tiempo de activación y desactivación, etc.

Relé de corriente alterna.

Cuando se excita la bobina de un relé con corriente alterna, el flujo magnético en el circuito magnético, también es alterna, produciendo una fuerza pulsante, con frecuencia doble, sobre los contactos. En un relé de corriente alterna se modifica la resonancia de los contactos para que no oscilen.

Ventajas del uso de relés.

La gran ventaja de los relés es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y los circuitos controlados por los contactos, lo que hace que se puedan manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control.

Con una sola señal de control, se pueden controlar varios relés a la vez y, por tanto, distintos elementos.

Relé de estado sólido.

Se llama relé de estado sólido a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un optoacoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico.

Las características más relevantes de los réles y contactores son:

- Tensión de mando: Tensión de alimentación de la bobina de mando.
- Potencia de mando: Potencia necesaria para accionar la bobina de mando
- Tensión de aislamiento, U_i : Tensión prueba entre circuito de mando y contactos.
- Tensión de empleo U_e : Tensión de trabajo de los contactos de potencia.
- Corriente térmica, I_{th} : Corriente máxima que pueden soportar los contactos una vez cerrados sin sobrepasar los límites de calentamiento. No debe confundirse con la corriente de empleo.
- Corriente de empleo, I_e : Es la corriente que el dispositivo es capaz de accionar e interrumpir para cada tensión de empleo y con carga resistiva.
- Poder de corte: Se define por la corriente que el relé es capaz de accionar e interrumpir para cada tipo de carga (inductiva, capacitiva, motores, etc.) y para un número de maniobras determinado.

Los tipos de servicio más frecuentes según las normas IEC son:

Para relés.

- DC11: Mando de bobinas y electroimanes en general en corriente continua.
- AC11: Mando de bobinas y electroimanes en general de corriente alterna.

Para contactores.

- AC1: Conexión y corte de carga resistivas.
- AC2: Mando de motores de CA de rotor en corto circuito, sin posibilidad de corte durante el arranque ni inversión a motor lanzado.
- AC3: Mando de motores de CA de rotor en corto circuito con posibilidad de corte durante el arranque e inversión de marcha a motor lanzado.
- AC4: Mando de motores de CA con corriente limitada por resistencias, autotransformador u otros medios.

En la tabla 1.1 se da breve resumen de las características más importantes de los relevadores y contactores de baja tensión.

CARACTERÍSTICA	RELÉS	CONTACTORES
V mando	6,12,24,48,110 V	24, 48, 110, 220 V
CC		
CA	12 a 220 V	24 a 380 V
W mando	0.250 a 5 W	5 a 1000 W
U_i	250 a 1000 V CA	1000 a 5000
U_e	<110 V	< 250 V
CC		
CA	<380	< 1000 V
I_{th}	< 15 A	16 A a 1500 A
I_e	< 1 A	1 A a 500 A
Poder de corte	DC11 < 1 A	DC1 hasta 200 A
	AC11 < 5 A	AC3 hasta 1000 A

Tabla 1.1

1.8.2 Motor eléctrico.

Un '*motor eléctrico*' es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía eléctrica en energía mecánica. En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

- A igual potencia su tamaño y peso son más reducidos.
- Se puede construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 80%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- La gran mayoría de los motores eléctricos son máquinas reversibles pudiendo operar como generadores, convirtiendo energía mecánica en eléctrica.
- Por estos motivos son ampliamente utilizados en instalaciones industriales y demás aplicaciones que no requieran autonomía respecto de la fuente de energía, dado que la energía eléctrica es difícil de almacenar.

Motores de corriente continua.

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- Motor serie
- Motor compound
- Motor shunt
- Motor eléctrico sin escobillas

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- Motor paso a paso
- Servomotor
- Motor paso a paso.

El motor eléctrico paso a paso es un actuador conversor de tren de impulsos en movimiento angular giratorio. Existe para un motor eléctrico paso a paso un ángulo que define el desplazamiento mínimo que puede conseguirse.

El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un convertidor digital-analógico y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos.

Presenta unas ventajas de precisión e insensibilidad a las variaciones de tensión y posicionamiento.

En la figura 1.18 se observa el corte de un motor paso a paso.

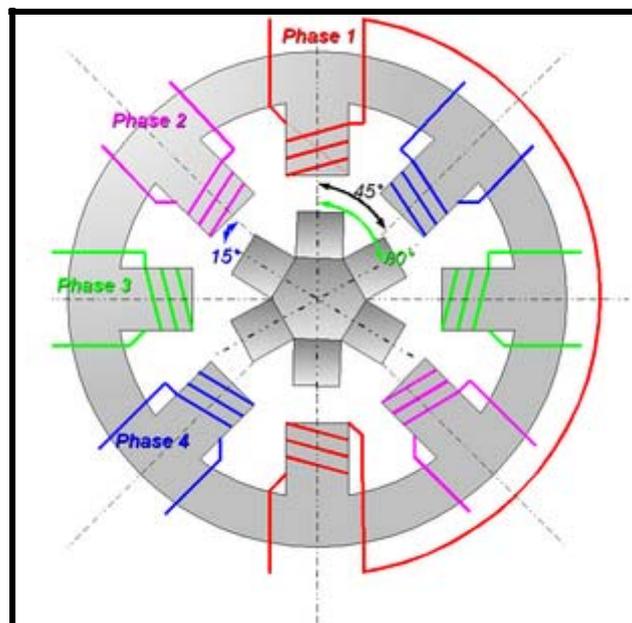


Fig. 1.18 Diagrama esquemático de un motor paso a paso.

Entre sus principales aplicaciones destacan como motor de frecuencia variable, motor de corriente continua sin escobillas, servomotores y motores mandados digitalmente.

Motores universales.

El motor de c.c. serie, tal como se ha explicado, gira cuando se aplica c.c. o c.a de baja frecuencia. Tal motor, llamado universal, se utiliza en ventiladores, sopladores, batidoras, taladradoras eléctricas transportables y otras aplicaciones donde se requiere gran velocidad con cargas débiles o pequeña velocidad con un par muy potente.

Motores de corriente alterna.

Los motores de corriente alterna están formados por dos partes principales:

El estator es la parte externa del motor que no gira. Esta consta de embobinados, que al ser alimentados por corriente alterna, generan un campo magnético rotativo.

El rotor es la parte del motor que gira, debido a la acción del campo magnético rotativo del estator. Ver figura 1.19

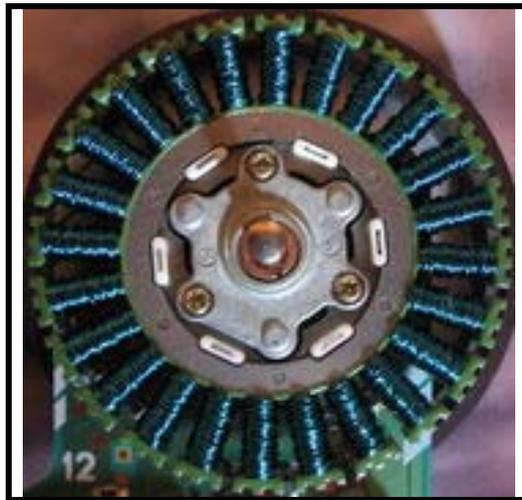


Fig. 1.19 Rotor de un motor eléctrico.

Los motores de corriente alterna se clasifican en:

- Motor síncrono.

La velocidad de giro de un motor síncrono es constante y viene determinada por la frecuencia de la tensión de la red a la que este conectada y el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo".

Los motores síncronos se caracterizan porque su rotor está magnetizado.

Un caso especial de motor síncrono es el denominado condensador síncrono, cuya finalidad es actuar como condensador para mejorar el factor de potencia de una instalación.

- Motor asíncrono.

En un motor asíncrono o motor de inducción, el campo magnético rotativo induce en el rotor un campo magnético que se opone al primero, resultando en un par que hace que el rotor gire en el mismo sentido del giro del campo magnético rotativo. Para que el campo magnético pueda producirse, el rotor tiene que girar a una velocidad un poco menor que la del campo magnético rotativo. Por esto, su velocidad de giro es siempre inferior a la velocidad de sincronismo, aumentando esa diferencia a medida que aumenta la carga resistente del motor. La diferencia entre la velocidad de sincronismo y la real de la máquina es relativamente pequeña incluso con cargas elevadas. Esta diferencia de velocidad se llama "deslizamiento".

El motor asíncrono más conocido es el motor denominado jaula de ardilla. Su nombre se debe al parecido del rotor con una jaula, donde acostumbran a correr los roedores que se mantienen como mascotas. Este tipo de motor no proporciona ningún voltaje al rotor por medio de conexiones externas. Cuando se incrementa la potencia del motor suele ser necesario emplear diferentes sistemas de arranque para limitar la punta de corriente que se produce durante el arranque. Por su simplicidad de funcionamiento y su robustez es el tipo de motor eléctrico más empleado.

- Motor lineal.

Los motores lineales son usados ampliamente en guías lineales y en algunos tipos de trenes de alta velocidad.

1.9 Controladores.

El controlador es el cerebro del sistema de control. Recibe las entradas procedentes de los sensores y demás dispositivos externos, y realiza cálculos matemáticos y comparaciones lógicas, a fin de decidir que es lo que debe realizarse a continuación. Luego genera señales de salida correctas dirigidas a los dispositivos de actuación, que ejecutara dicha decisión. El controlador suele estar compuesto por combinaciones de amplificadores, filtros y circuitos digitales, incluyendo dispositivos lógicos y microprocesadores.

Los controladores pueden ser clasificados por el tipo de acciones a realizar en:

Discretos o Sí/No. En este sistema el controlador enciende o apaga la entrada y es utilizado, por ejemplo, en el alumbrado público, ya que éste se enciende cuando la luz ambiental es más baja que un predestinado nivel de luminosidad.

Proporcional (P) En este sistema la amplitud de la señal de entrada al sistema afecta directamente la salida, ya no es solamente un nivel predestinado sino toda la gama de niveles de entrada. Algunos sistemas automáticos de iluminación utilizan un sistema *P* para determinar con que intensidad encender lámparas dependiendo directamente de la luminosidad ambiental.

Proporcional derivativo (PD) En este sistema, la velocidad de cambio de la señal de entrada se utiliza para determinar el factor de amplificación, calculando la derivada de la señal.

Proporcional integral (PI) Este sistema es similar al anterior, solo que la señal se integra en vez de derivarse.

Proporcional integral derivativo (PID) Este sistema combina los dos anteriores tipos.

Redes neuronales. Este sistema modela el proceso de aprendizaje del cerebro humano para aprender a controlar la señal de salida.

1.9.1 Tipos de controladores.

Controlador Todo / Nada. Este tipo de controlador aporta únicamente dos posibles estados totalmente opuestos y que generalmente vienen representados por 0% y 100%. Si el error que presenta el controlador es $e(t)$, y la señal de control que proporciona es $m(t)$, el controlador todo o nada se representa por:

$$m(t) = \begin{cases} M_1 & \text{para } e(t) > 0 \\ M_2 & \text{para } e(t) < 0 \end{cases}$$

El uso práctico de este controlador suele exigir que el error tenga un cierto rango antes de la conmutación, para impedir que oscile con una frecuencia demasiado alta. Se define una zona neutra o banda diferencial, en la que el elemento final de control permanece en su última posición para valores de la variable comprendidos dentro de esa zona. Este control funciona correctamente si el proceso tiene una velocidad de reacción lenta, y posee un tiempo de retardo mínimo.

Control Todo / Nada con varias posiciones

Idéntico funcionamiento al todo / nada, pero en vez de presentar únicamente dos posibilidades como salida posee n . Se dará como salida un valor determinado cuando el error $e(t)$ se encuentre dentro de unos márgenes preestablecidos. Así, un controlador todo / nada de 4 posiciones sería:

$$m(t) = \begin{cases} M_1 & \text{para } e(t) > E_1 \\ M_2 & \text{para } E_1 > e(t) > E_2 \\ M_3 & \text{para } E_2 > e(t) > E_3 \\ M_4 & \text{para } e(t) < E_3 \end{cases}$$

Control Proporcional. En los casos en que se requiera una acción de control más suave, puede utilizarse un controlador proporcional, que proporciona una señal de control proporcional al error. Consiste en generar una acción de control directamente proporcional al error. Actúa como un amplificador de ganancia. K_p Su acción se representa por:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + m_o$$

donde m_o es la salida del controlador cuando el error es cero. La salida de un controlador se expresa a menudo como un porcentaje del rango completo de posibles valores:

$$Salida(\%) = \frac{Salida - minimo}{Maximo - minimo} \cdot 100$$

Así, el 0% representa la salida mínima del controlador, y el 100% la máxima. De igual forma, el error también se expresa como un porcentaje:

$$Error(\%) = \frac{Medida - minimo}{Maximo - minimo} \cdot 100$$

Como se puede observar las características más importantes de un controlador Proporcional son:

Ganancia (K_p) que es la cantidad por la que se multiplica la señal de error para obtener la señal de salida.

Banda proporcional. Que es el porcentaje de variación de la variable controlada necesario para provocar que el elemento final de control recorra sus dos valores extremos. Bandas proporcionales "anchas" implican una lenta aproximación al punto de consigna y bandas relativamente estrechas implican un comportamiento inestable del controlador consecuencia de la celeridad de su respuesta frente a la inercia de los sistemas.

La acción proporcional presenta este serio inconveniente, denominado *error de offset*, consistente en la desviación permanente de la variable controlada respecto a su consigna al alcanzar el estado estacionario.

Control Integral. En un controlador que emplea una acción de control integral, la señal de control se modifica a una velocidad proporcional a la señal de error. Es decir, si la señal de error es grande, la señal de control se incrementa con gran rapidez; si es pequeña, la señal de control se incrementa con lentitud. Este proceso puede representarse por:

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_I \cdot e(t)$$

o lo que es lo mismo:

$$m(t) = \int_0^t \cdot K_I \cdot e(t) + m_o.$$

Por la propia definición de integral, son sistemas con "memoria", ya que la salida en un instante, dependerá del comportamiento anterior desde 0 hasta t.

Control Proporcional Integral. Una acción de control proporcional generará siempre un desplazamiento respecto al estado estacionario, de forma que la variable deseada no alcanzará el valor deseado y por esta razón se utiliza una acción integral, que consiste en evaluar, en el transcurso de tiempo, el área comprendida entre las curvas valor real/valor deseado, generándose una acción proporcional y de sentido contrario a la magnitud de esa área, corrigiéndose el offset. Viene dada por:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) + m_o.$$

T_i se conoce como *tiempo de acción integral* el cual regula la ganancia del integrador, y K_p ajusta el integrador y la ganancia proporcional. El tiempo de acción integral son los

segundos que deben transcurrir para repetir el cambio inicial de acción proporcional en la salida de control. Una acción integral corta implica que el controlador tratará de corregir relativamente pronto la desviación entre la consigna y el valor real. En un proceso con inercia, podría causar una oscilación inestable del sistema. Sin embargo, una acción integral relativamente larga es más segura pero implica una situación poco estable por la lentitud de la respuesta.

Control Derivativo. En el control Derivativo, el cambio en la salida del controlador desde el valor de la consigna es proporcional a la relación de cambio con respecto al tiempo, de la señal de error:

$$m(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + m_o$$

La principal característica de la acción derivativa es la de retrasar o acelerar la acción de control según convenga. Con este tipo de control, tan pronto como la señal de error cambia, puede haber una salida bastante grande del controlador puesto que es proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error y no a su valor. Por tanto, hay una respuesta inicial rápida a las señales de error. Por contra, este tipo de controladores no responden a las señales de error en régimen permanente, ya que su derivada es cero. por esta razón no se utilizan individualmente, sino que hay que combinarlos con alguna otra acción. El efecto de la acción de control derivativo es anticipar los cambios de error, y proporcionar un respuesta más rápida a esos cambios. La velocidad rápida de respuesta inherente al control derivativo permite al sistema salvar el tiempo de retardo en los procesos rápidos y estabilizarse en corto periodo de tiempo, especialmente cuando el error o la carga cambian constantemente.

Control Proporcional Derivativo. La acción de control derivativo proporciona una señal de control proporcional a la velocidad de cambio de la señal de error. Se combina con una acción Proporcional (Controlador P-D) para eliminar los errores constantes. Resulta una señal de control de tipo:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + m_o$$

La salida del controlador puede variar cuando hay un error cambiando constantemente. Hay un cambio inicial rápido en la salida del controlador a causa de la acción derivativa seguida de un cambio gradual debido a la acción proporcional.

El principal parámetro que caracteriza a la acción derivativa es el *tiempo de acción derivativa*, expresada en segundos de anticipo. Representa el tiempo con que la acción derivativa se anticipa al efecto de la acción proporcional sobre el elemento final de control. Cuando se dispone de valores excesivamente estrechos de la acción derivativa, es decir, pocos segundos de anticipo en la acción de control, no hay posibilidad de una buena predicción de hacia donde se dirige el proceso y no se eliminan las oscilaciones residuales. Por el contrario, cuando se trabaja con valores excesivamente altos de la acción derivativa, puede provocarse una gran inestabilidad en

el sistema. Dado que, principalmente se utiliza este parámetro para estabilizar el estado estacionario, un valor adecuado al mismo será (en segundos) del orden de 1/10 el periodo de oscilación del sistema controlado. Este controlador presenta el problema de que un cambio de carga requiere un error de desplazamiento (offset), debido a la acción proporcional.

Control Proporcional Integral Derivativo. Si se combinan las tres acciones de control aparece el controlador P-I-D que no presenta error de desplazamiento y reduce la tendencia a las oscilaciones. Se representa por la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + m_o$$

Este control es el más general, y con toda probabilidad es el tipo de controlador más utilizado, ya que permite una óptima explotación de las características de los tres tipos de control. Se crea una respuesta de salida que sigue estrechamente la señal de entrada, sin intervalos o retardos en procesos lentos y rápidos, incluyendo aquellos en los que la carga varía constantemente. Se puede considerar como un controlador proporcional, que dispone de un control integral para eliminar el error de desplazamiento y un control derivativo para reducir retardos de tiempo.

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE CONTROL ELÉCTRICOS Y ELECTRONICOS

CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE CONTROL

ELÉCTRICOS Y ELECTRONICOS.

Introducción.

El control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería y de la ciencia. El control automático también ha llegado a ser una pieza angular en los procesos de manufactura y procesos modernos industriales, por ejemplo: en el control de temperaturas, de motores, presiones, fuerzas, etc.

El objetivo del control automático es el de suplir las deficiencias del “control manual”, cuando una persona se encargaba de monitorear las entradas y salidas del sistema y tomaba las decisiones para mantener al sistema estable, que se veían reflejadas en costo, tiempo y en la calidad del producto.

Los sistemas de control están íntimamente relacionados con la instrumentación, ya que se deben medir variables físicas, es decir, se debe conocer los valores de las variables que entran y salen al sistema en todo momento, y es ahí donde entra la aplicación de la electrónica, es donde se hace posible el paso de lo analógico a lo digital y también justifica la entrada del PLC (Controlador Lógico Programable), ya que éste último será “el cerebro” del sistema de control dando paso a la automatización, es la sustitución de operaciones humanas por algún medio mecánico, eléctrico, electro-neumático, electro-hidráulico, electrónico, etc.

2.1 Control eléctrico.

El control eléctrico se define como las partes y funcionamiento de los elementos principales que intervienen en el control eléctrico: contactores, relevadores, temporizadores, botoneras, interruptores, lámparas indicadoras, etc. Es el estudio de todos los dispositivos que intervienen para cumplir con las funciones específicas de los equipos o maquinarias, no sólo los elementos eléctricos, también los dispositivos electrónicos de potencia.

Dispositivos de protección

La función de estos dispositivos es proteger a personas y equipos cuando se presentan las siguientes anomalías:

- Cortocircuitos (fusibles, disyuntores)
- Sobre intensidades (relé térmico, relé electromagnético).
- Sobre temperaturas (relé por termistor).
- Sobre tensiones (relé de máxima tensión).
- Bajas tensiones (relé de mínima tensión).
- Descargas eléctricas a las personas (relé diferencial)

Un cortocircuito es el contacto directo de dos puntos con potenciales eléctricos distintos

- En corriente alterna: contacto entre fases, entre fase y neutro o entre fases y masa conductora.
- En corriente continua: Contacto entre los dos polos o entre la masa y el polo aislado.

Es preciso que los dispositivos de protección detecten el fallo e interrumpan el circuito rápidamente, a ser posible antes de que la corriente alcance su valor máximo.

Los efectos térmicos de un cortocircuito provocan en los componentes los siguientes efectos:

- Fusión de los contactos, de los bobinados de las biláminas y de las conexiones
- Calcinación de los materiales aislantes.

Elementos de protección

Fusibles que interrumpen el circuito al fundirse, por lo que deben ser sustituidos.

Disyuntores que interrumpen el circuito abriendo los polos y que con un simple rearme se pueden volver a poner en servicio.

Los fusibles proporcionan una protección fase a fase, con un poder de corte muy elevado y un volumen reducido frente a sobrecargas y corrientes de cortocircuito.

Se pueden montar de dos maneras:

- En unos soportes específicos llamados portafusibles
- En los seccionadores, en lugar de los casquillos o las barretas.

Clasificación

Los fusibles se clasifican de la siguiente forma:

De acuerdo con:

La primera letra:

- g:** actúan en todo el campo de corrientes
- a:** actúan sólo en una parte del campo de corrientes

Segunda letra:

- G:** uso general
M: protección de motores

Clasificación

Fusibles de uso general, los cuales pueden estar cargados en forma permanente con su corriente asignada e interrumpir corrientes desde su menor corriente de fusión hasta la capacidad de ruptura asignada.

A ésta clase de funcionamiento pertenece los fusibles **gL / gG** para la protección de cables y conductores.

Los fusibles protegen a la vez contra los cortocircuitos y contra las sobrecargas a los circuitos con picos de corriente poco elevados (ejemplo: circuitos resistivos). Sobrecargas fuertes y débiles y corrientes de cortocircuito. Fusibles clase g (general purpose fuses)

Por lo tanto, sólo protegen contra cortocircuitos a los circuitos sometidos a picos de corriente elevados (picos magnetizantes en la puesta bajo tensión de los primarios de transformadores o electroimanes, picos de arranque de motores asíncronos, etc.). Las características de fusión de los fusibles **aM** “dejan pasar” las sobre intensidades, pero no ofrecen ninguna protección contra las sobrecargas. En caso de que también sea necesario este tipo de protección, debe emplearse otro dispositivo (por ejemplo, un relé térmico).

Fusibles clase a (accompanied fuses)

La clase de funcionamiento **a** caracteriza a los fusibles de uso parcial, por los cuales puede circular de forma permanente, como mínimo, su corriente asignada e interrumpir corrientes superiores a un determinado múltiplo de su corriente asignada, hasta su capacidad de ruptura.

Los fusibles de la clase de servicio **aM** pertenecen a esta clase de funcionamiento, cuya corriente de interrupción comienza a partir de cuatro veces la corriente asignada.

Sobrecargas fuertes y corrientes de cortocircuito

Dispositivo de protección contra funcionamiento monofásico (dpfm)

Los disyuntores magnéticos protegen los circuitos contra:

- Los cortocircuitos, dentro de los límites de su poder de corte a través de disparadores magnéticos (un disparador por fase)
- Los contactos indirectos, siguiendo las normas sobre regímenes de neutro, para los esquemas TN o IT. Los esquemas TT pueden necesitar una protección diferencial residual.

Dependiendo del tipo de circuito que se desea proteger (distribución, motor, etc.), el umbral de disparo magnético se situará entre 3 y 15 veces la corriente térmica I_{th} . Dependiendo del tipo de disyuntor, dicho umbral de disparo puede ser fijo o ajustable por el usuario.

Todos los disyuntores pueden realizar cortes omnipolares: la puesta en funcionamiento de un solo disparador magnético basta para abrir simultáneamente todos los polos.

Cuando la corriente de cortocircuito no es muy elevada, los disyuntores funcionan a mayor velocidad que los fusibles.

Es el valor máximo estimado de corriente de cortocircuito que puede interrumpir un disyuntor con una tensión y en unas condiciones determinadas. Se expresa en kA eficaces simétricos, el poder asignado de corte último I_{cu}

Es el valor eficaz máximo de corriente que permite realizar un corte correctamente y a continuación una operación de cierre-apertura el poder asignado de corte de servicio I_{cs}

Es el valor eficaz máximo de corriente que permite realizar un corte correctamente y a continuación dos operaciones de cierre-apertura.

2.2. Control eléctrico de motores.

El circuito de control contiene los dispositivos de control que inician el funcionamiento de una máquina, el controlador.

El controlador podría ser aprovechado para proporcionar funciones suplementarias que pudieran incluir movimientos reversibles de pulsaciones e inversiones rápidas, operando a diversas velocidades o a niveles reducidos e corriente y par de motor.

Controlador para motores.

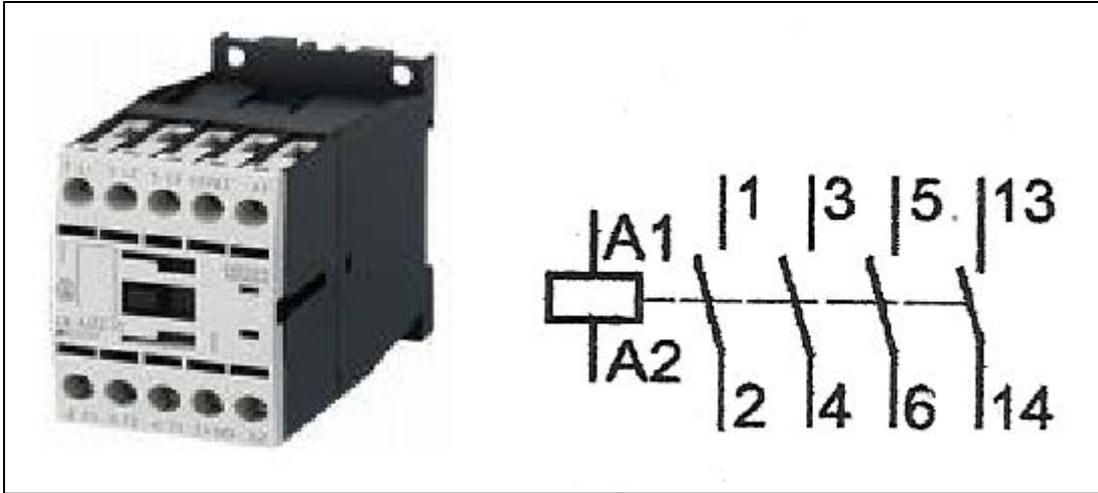
El controlador cubrirá algunas o todas de las siguientes funciones: arranque, paro, protección de sobrecarga, protección de sobrecorriente, movimientos reversibles, cambios de velocidad, pulsaciones, inversión rápida, control de ausencia, indicador de lámpara piloto. El controlador puede también servir de control para equipo auxiliar, como por ejemplo: frenos, embragues, solenoides, calentadores y señales. Un controlador puede ser usado para el control de un motor o grupo de motores.

Arrancador

Los términos “controlador” y “arrancador”, son prácticamente los mismos. Estrictamente, un arrancador es la forma más simple de un controlador y es capaz de arrancar y para el motor y darle protección de sobrecarga.

Contactador.

Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recíbelo corriente eléctrica, comportándose como un electroimán y atrayendo dichos contactos en la fig. 2.1 se muestra un contactor y su diagrama eléctrico



.Fig. 2.1 Contactor eléctrico

Para poder disponer de más contactos auxiliares y según el modelo, se le puede acoplar a este una cámara de contactos auxiliares o módulos independientes, normalmente abiertos, o normalmente cerrados como los de la fig. 2.2.

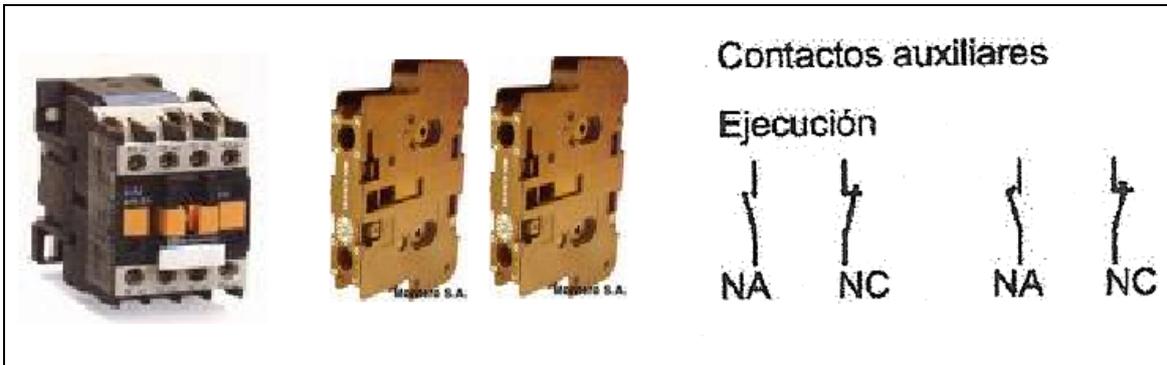


Fig. 2.2 Contactor con módulos auxiliares

Relé de sobrecarga térmico.

Es un mecanismo que sirve como elemento de protección al motor. Su misión consiste en desconectar el circuito cuando la intensidad consumida por el motor, supera durante un tiempo corto, ala permitida por éste, evitando que el embobinado se quem. La velocidad de corte no es tan rápida como en el interruptor termomagnético en la figura 2.3 se muestra el aspecto físico de un relevador de corriente.

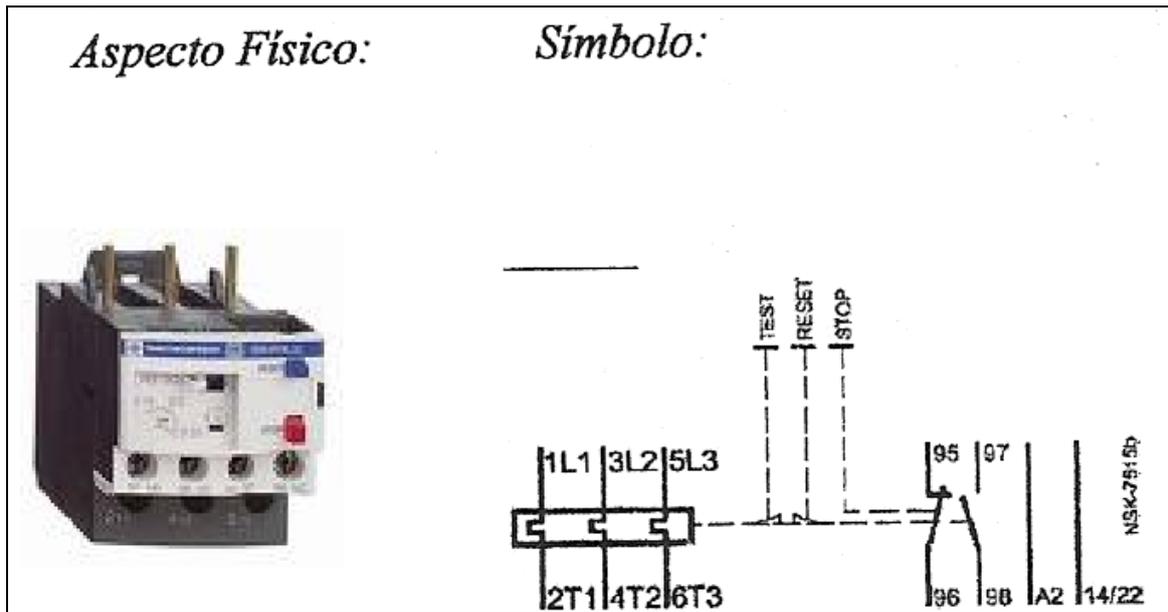


Fig. 2.3 Relevador de sobrecarga térmico

Los relés temporizadores térmicos tienen dos funciones:

- Controlar, desde que se ponen bajo tensión mediante un contacto auxiliar, que las operaciones no duren más de lo previsto.
- Temporizar las acciones de los relés midiendo la corriente o la tensión. Se utilizan principalmente para:
- Proteger la resistencia o el auto transformador de arranque de un motor contra los arranques demasiado frecuentes, prolongados o incompletos.
- Retrasar las paradas de seguridad hasta el momento en el que la persistencia o la repetición de un fenómeno resulten peligrosas (por ejemplo: descebado de una bomba, falta de presión del aceite de una máquina, etc.)

Relés Térmicos de Biláminas

Características

- Tripolares
- Compensados. Es decir, insensibles a los cambios de la temperatura ambiente,
- Sensibles. A una pérdida de fase, por lo que evitan el funcionamiento monofásico del motor.
- Rearme automático o manual
- Graduación. En “amperios motor”: visualización directa en el relé de la corriente indicada en la placa de características del motor.

Funcionamiento

Los relés térmicos tripolares poseen tres biláminas compuestas cada una por dos metales con coeficientes de dilatación muy diferentes unidos mediante laminación y rodeadas de un bobinado de calentamiento.

Cada bobinado de calentamiento está conectado en serie a una fase del motor. La corriente absorbida por el motor calienta los bobinados, haciendo que las biláminas se deformen en mayor o menor grado según la intensidad de dicha corriente. La deformación de las biláminas provoca a su vez el movimiento giratorio de una leva o de un árbol unido al dispositivo de disparo.

Si la corriente absorbida por el receptor supera el valor de reglaje del relé, las biláminas se deformarán lo bastante como para que la pieza a la que están unidas las partes móviles de los contactos se libere del tope de sujeción. Este movimiento causa la apertura brusca del contacto del relé intercalado en el circuito de la bobina del contactor y el cierre del contacto de señalización. El rearme no será posible hasta que se enfríen las biláminas.

Los relés se regulan con un pulsador que modifica el recorrido angular que efectúa el extremo de la bilámina de compensación para liberarse del dispositivo de sujeción que mantiene el relé en posición armada.

La rueda graduada en amperios permite regular el relé con mucha precisión. La corriente límite de disparo está comprendida entre 1,05 y 1,20 veces el valor indicado.

Relés de protección por termistor.

Los aparatos de disparo para la protección de motor por termistor son dispositivos electrónicos de protección adecuados, en combinación con resistencias PTC tipo A (termistores), para el control de temperaturas en accionamientos eléctricos, devanados de transformadores, aceites, cojinetes, aire, etc.

Relés de protección por termistor

La resistencia de estos componentes estáticos aumenta bruscamente cuando la temperatura alcanza el umbral llamado Temperatura Nominal de Funcionamiento (TNF)

Un dispositivo electrónico, alimentado en corriente alterna o continua, que mide permanentemente la resistencia de las sondas asociadas, detecta el fuerte aumento del valor de la resistencia que se produce cuando se alcanza la TNF y ordena el cambio de estado de los contactos de salida. En función del tipo de sondas, este modo de protección puede activar una alarma sin detener la máquina (TNF de las sondas inferior a la temperatura máxima especificada para el elemento protegido), o detener la máquina (la TNF coincide con la temperatura máxima especificada)

Tipos de relés de sonda

Existen dos tipos de relés de sondas:

- De rearme automático, cuando la temperatura de las sondas tiene un valor inferior a la TNF,
- De rearme manual local o a distancia, ya que el pulsador de rearme no resulta efectivo mientras la temperatura sea superior a la TNF.

El disparo se activa con los siguientes fallos:

- Se ha superado la TNF,
- corte de las sondas o de la línea sondas-relés,

Disparo del relé de sonda

El disparo se activa con los siguientes fallos:

- Se ha superado la TNF,
- Corte de las sondas o de la línea sondas-relés,
- Cortocircuito de las sondas o de la línea sondas-relés,
- Ausencia de la tensión de alimentación del relé.

Las sondas miden la temperatura con absoluta precisión, ya que, debido a su reducido tamaño, tienen una inercia térmica muy pequeña que garantiza un tiempo de respuesta muy corto.

Relés Electromagnéticos de máxima corriente

Los relés electromagnéticos de máxima corriente se utilizan para proteger las instalaciones sometidas a picos de corriente frecuentes contra las sobrecargas importantes en los casos en los que, a causa de arranques demasiado frecuentes, variaciones bruscas del par o riesgos de calado, resulte imposible utilizar relés térmicos de biláminas.

Los principales elementos de los relés son:

- Un circuito magnético, formado por una parte fija, una armadura móvil y una bobina.
- Un mecanismo de disparo accionado a través de la armadura móvil y que actúa sobre contactos auxiliares NC + NA. La corriente que se desea controlar atraviesa la bobina, conectada en serie a una de las fases del receptor.

Cuando dicha corriente rebasa el valor de reglaje, el campo magnético que genera la bobina es suficiente para atraer la armadura móvil y cambiar el estado de los contactos. El contacto de apertura se encuentra en el circuito de la bobina del contactor principal, por lo que éste se abre.

Relés de control de tiempo (Temporizadores)

Estos dispositivos son utilizados cuando, durante un proceso se requiere controlar el tiempo, dar una cierta secuencia o cumplir con funciones a intervalos de tiempo. El principio de operación puede ser neumático, eléctrico o electrónico.

Relés de tiempo neumático.

Basa su principio de operación en la transferencia de aire a través de un orificio. La cantidad de aire es controlada por una válvula de aguja ajustable, permitiendo los cambios que deban hacerse en el periodo de tiempo.

Temporizadores con retardo a la reconexión (TON)

Este tipo de temporizadores se caracterizan porque cierran sus contactos después de un cierto tiempo programado.

Temporizadores con retardo a la desconexión. (TOFF)

Este tipo de temporizadores se caracterizan por tener un tiempo programado de retraso en el cual abrirán sus contactos normalmente cerrados.

Protección de motores de arranque prolongado.

Para proteger los motores de arranque prolongado contra las sobrecargas es preferible utilizar relés:

- Mediante un relé con sondas de termistancias.
- Mediante un relé térmico de clase 10 alimentado a través de los secundarios de tres transformadores de corriente con bajo índice de saturación.
- Cortocircuitando un relé térmico de clase 10 durante el arranque con ayuda de un contactor.

Al final del arranque, un contacto auxiliar temporizado controla la apertura del contactor de cortocircuitado, volviendo a asociar las biláminas del relé en el circuito del motor. No obstante, conviene señalar que si durante el arranque se produce un corte de fase, el relé térmico no lo detectará hasta que se desactive el contactor de cortocircuitado.

Interruptor termomagnético.

Su función es la de proteger a la instalación y al motor, abriendo el circuito en los siguientes casos:

- Cortocircuito: En cualquier punto de la instalación.
- Sobrecarga: Cuando la intensidad consumida en un instante, supera la intensidad a la que está calibrada.

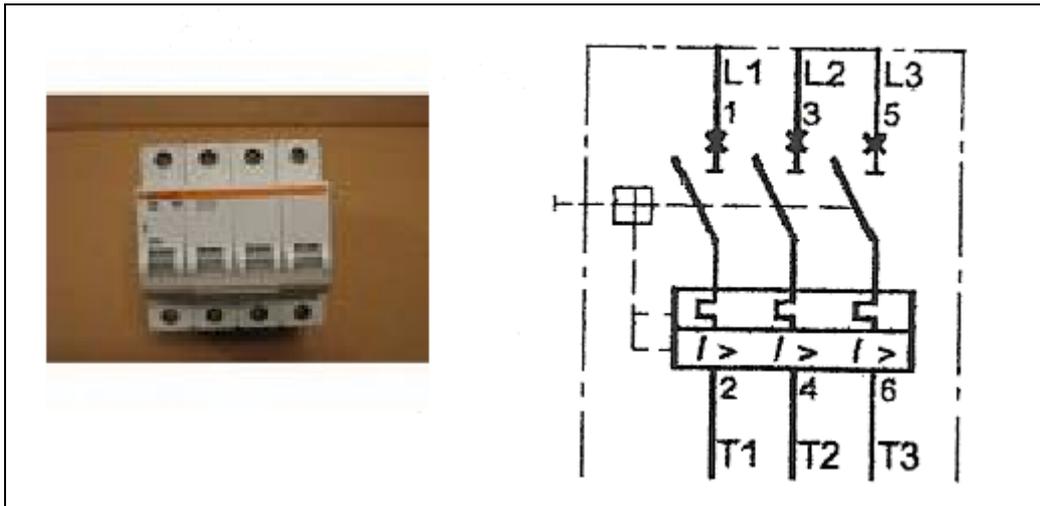


Fig.2.4 Interruptor termomagnético

Pulsadores.

Son elementos de accionamiento, que sirven para cerrar o abrir un circuito permitiendo el paso o no de la corriente a través de ellos.

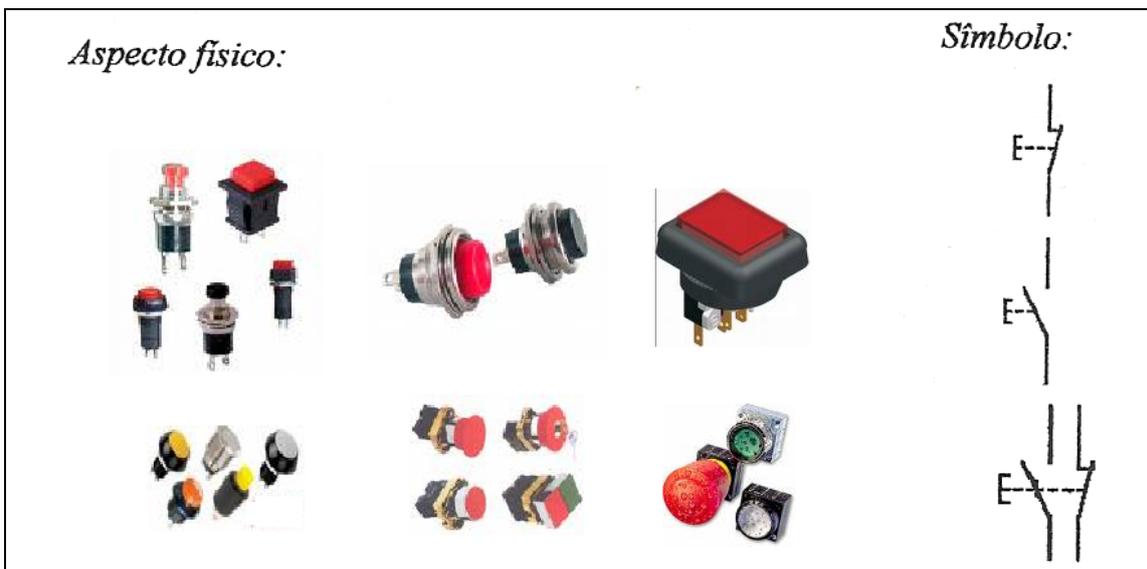


Fig. 2.5 Diferentes tipos de pulsadores.

Interruptores de posición, o finales de carrera.

Es un interruptor de posición que se utiliza en apertura automática de puertas, como elemento de seguridad, para invertir el sentido de giro de un motor o pararlo.



Fig. 2.6 Interruptores de posición.

Como se observa en el diagrama de la fig. 2.6, el final de carrera está compuesto por un contacto normalmente cerrado y otro normalmente abierto. Cuando se presiona sobre el vástago, cambian los contactos de posición, cerrando el abierto y viceversa

Presostatos.

Es un mecanismo que abre y cierra unos contactos que posee, en función de la presión que detecta. Esta presión puede ser provocada por aire, aceite o agua, dependiendo del tipo de presostato.



Fig. 2.7 Presostatos

Detectores inductivos.

Es un fin de carrera que trabaja exento de roces y sin contactos, no está expuesto a desgaste mecánico y en general es resistente a los efectos del clima. Su empleo es especialmente indicado donde se requieren elevadas exigencias, precisión en el punto de conexión, duración, frecuencia de maniobras y velocidad de accionamiento

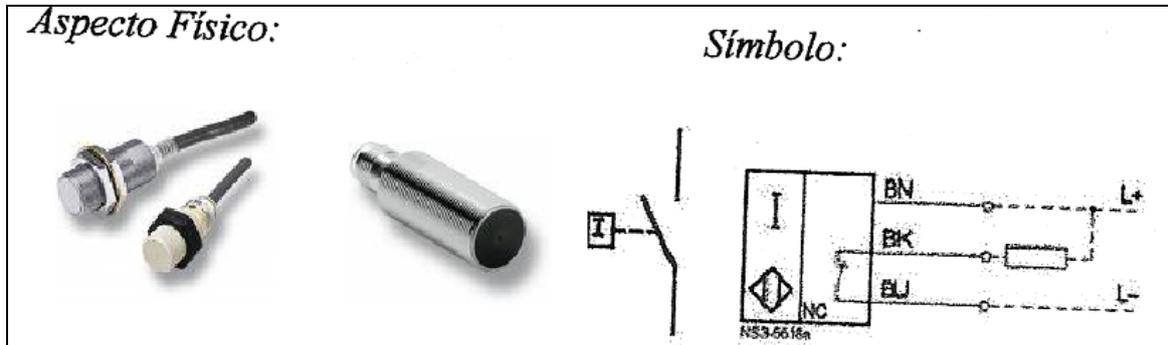


Fig. 2.8 Detectores inductivos

2.2.1 Control de arranque para motores eléctricos

Motores de corriente continua.

En general, los motores de corriente continua son similares en su construcción a los generadores. Cuando la corriente pasa a través de la armadura de un motor de corriente continua, se genera un par de fuerzas por la reacción magnética, y la armadura gira. La acción del conmutador y de las conexiones de las bobinas del campo de los motores son exactamente las mismas usadas por los generadores. La revolución de la armadura induce un voltaje en las bobinas de ésta. Este voltaje es opuesto en la dirección al voltaje exterior que se aplica a la armadura, generando de esta forma un voltaje inducido. Cuando el motor gira más rápido, el voltaje inducido aumenta hasta que es casi igual al aplicado. La corriente es entonces pequeña, y la velocidad del motor permanecerá constante siempre que el motor no esté bajo carga y tenga que realizar otro trabajo mecánico que no sea el requerido para mover la armadura. Bajo carga, la armadura gira más lentamente, reduciendo el voltaje inducido y permitiendo que fluya una corriente mayor en la armadura. El motor puede así recibir más potencia eléctrica de la fuente, suministrándola y haciendo más trabajo mecánico.

Debido a que la velocidad de rotación controla el flujo de la corriente en la armadura, deben usarse aparatos especiales para arrancar los motores de corriente continua. Cuando la armadura está parada, ésta realmente no tiene resistencia, y si se aplica el voltaje de funcionamiento normal, se producirá una gran corriente, que podría dañar al conmutador y las bobinas de la armadura. El medio normal de prevenir estos daños es mediante el uso de una resistencia de encendido conectada en serie a la armadura, para disminuir la corriente antes de que el motor consiga desarrollar el voltaje inducido adecuado. Cuando el motor acelera, la resistencia se reduce gradualmente, tanto de forma manual como automática.

Motores de corriente alterna

Se diseñan dos tipos básicos de motores para funcionar con corriente alterna polifásica: los motores sincrónicos y los motores de inducción.

El motor sincrónico es en esencia un alternador trifásico que funciona a la inversa. Los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua, y las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica. La variación de las tres ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los tres polos de los imanes del campo, y hace que el campo gire a una velocidad constante, que se determina por la frecuencia de la corriente en la línea de potencia de corriente alterna.

La velocidad constante de un motor sincrónico es ventajosa en ciertos aparatos. Sin embargo, no pueden utilizarse este tipo de motores en aplicaciones en las que la carga mecánica sobre el motor llegar a ser muy grande, ya que si el motor reduce su velocidad cuando está bajo carga puede quedar fuera de fase con la frecuencia de la corriente y llegara detenerse. Los motores sincrónicos pueden funcionar con una fuente de potencia monofásica mediante la inclusión de los elementos de circuito adecuados para conseguir un campo magnético rotatorio.

El motor de inducción de jaula de ardilla, es el más simple de todos los tipos de motores eléctricos usados con alimentación trifásica.

La armadura de éste tipo de motor consiste en tres bobinas fijas y es similar a la del motor sincrónico. El elemento rotatorio consiste en un núcleo, en el que se incluyen una serie de conductores de gran capacidad colocados en círculo alrededor de la flecha y paralelos a él. Cuando no tienen núcleo, los conductores del rotor se parecen en su forma a las jaulas cilíndricas que se usaban para las ardillas. El flujo de la corriente trifásica dentro de las bobinas de la armadura fija genera un campo magnético rotatorio, y éste induce una corriente en los inductores de la jaula. La reacción magnética en el campo rotatorio y los conductores del rotor que transportan la corriente hace que éste gire. Si el rotor da vueltas exactamente a la misma velocidad que el campo magnético, no habrá en él corrientes inducidas, y, por tanto, el rotor no debería girar a una velocidad sincrónica. En funcionamiento, la velocidad de rotación del rotor y la del campo difieren entre sí de un 2% a un 5%. Esta diferencia de velocidad se conoce como caída.

Los motores con rotores del tipo jaula de ardilla se pueden usar con corriente alterna monofásica utilizando varios dispositivos de inductancia o capacitancia, que alteren las características del voltaje monofásico y lo hagan parecido al bifásico. Este tipo de motores se denominan motores multifásicos o motores de condensador (o de capacidad) según los elementos que usen. Los motores de jaula de ardilla monofásicos no tienen un par de arranque grande, y se utilizan motores de repulsión-inducción para las aplicaciones en las que se requiere el par. Este tipo de motores pueden ser multifásicos o de condensador, pero disponen de un interruptor manual o automático que permite que fluya la corriente entre las escobillas del conmutador cuando se arranca el motor, y los circuitos cortos de todos los segmentos del conmutador, después de que el motor alcance una velocidad crítica. Los motores de repulsión-inducción se denominan así debido a que su par de arranque depende de la repulsión entre el rotor y el estator, y su par, mientras esté en funcionamiento, depende de la inducción.

Los motores de baterías en serie con conmutadores, que funcionan tanto con corriente continua como con corriente alterna, se denominan motores universales. Éstos se fabrican en tamaños pequeños y se utilizan en aparatos domésticos.

Arranque directo de motores trifásicos.

Es el sistema de arranque más simple obtenido en un solo tiempo, pues consiste en conectar directamente a la red, a través de un interruptor, contactor, etc. un motor en la Fig. 2.9 se muestra el diagrama eléctrico.

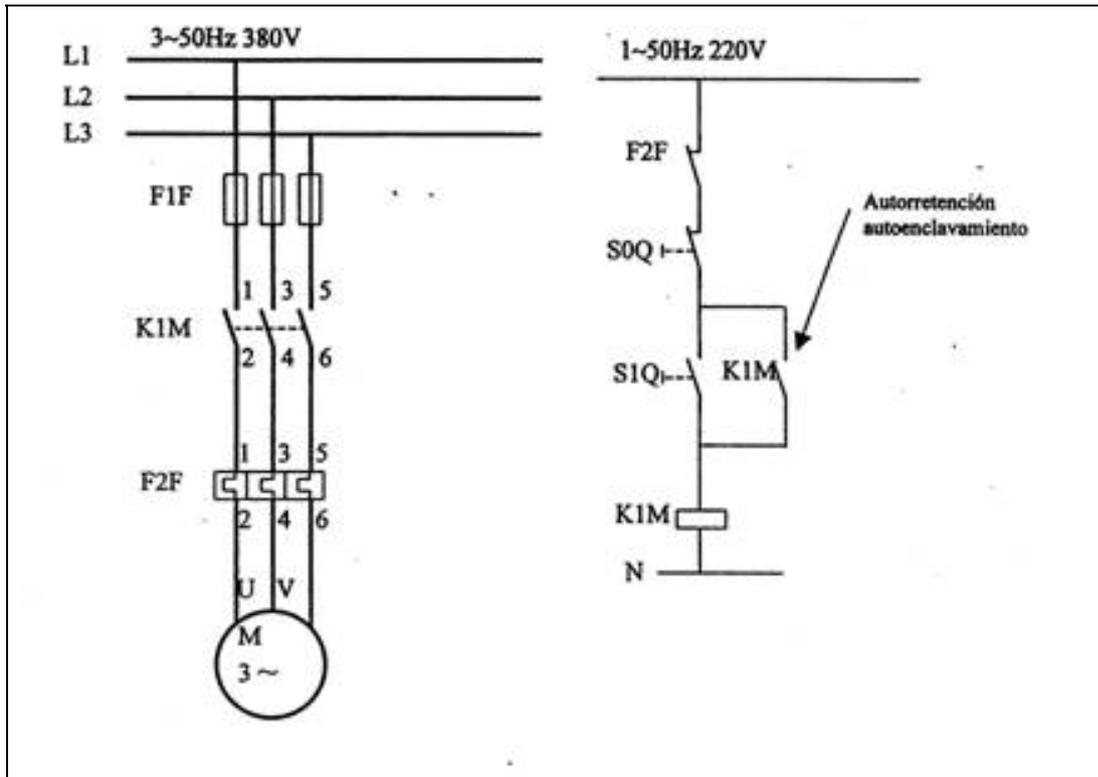


Fig. 2.9 Diagrama eléctrico de un sistema de arranque directo-

Con este sistema el motor absorbe una corriente de arranque que oscila de tres a siete veces la intensidad nominal, el par de arranque es siempre superior al par nominal y permite el arranque rápido de una máquina a plena carga.

La ventaja que tiene es la simplicidad del material necesario para la puesta en marcha y un par de arranque muy energético. El inconveniente es la elevada corriente de arranque, que por lo tanto, puede provocar una caída de tensión, la cual deberá tenerse en cuenta, pues se debe limitar aun 5% con objeto de tener un buen cierre de los elementos de conexión (interruptores, contactores, etc.) y no disminuir el par de arranque.

Las protecciones contra sobrecargas y cortocircuitos deben soportar la corriente de arranque sin perder su eficacia durante el funcionamiento del motor.

El campo de aplicación de este tipo de arranque es para motores de pequeña potencia o de potencia débil con relación a la potencia de la red y para máquinas que no necesitan una progresiva puesta en velocidad.

Cuando llegan a igualarse el par del motor y el resistente, la velocidad se estabiliza junto con la corriente de la línea.

Normalmente este sistema de arranque está limitado para la puesta en marcha de motores con una potencia no superior a cuatro o cinco caballos aproximadamente, así la intensidad de arranque puede ser absorbida por la línea de distribución.

Inversión del sentido de giro de un motor trifásico.

Cuando la máquina accionada tenga que girar en dos sentidos, bastará con cambiar dos de las tres fases de alimentación del motor para que se invierta el sentido, que se consigue porque se cambia el sentido campo giratorio del estator y, por consiguiente, el del inducido.

Los inversores constan de un equipo de dos contactores enclavados entre sí de tal manera que si funciona uno el otro no funcione, de lo contrario se produciría un cortocircuito como se muestra en el diagrama de la fig. 2.10.

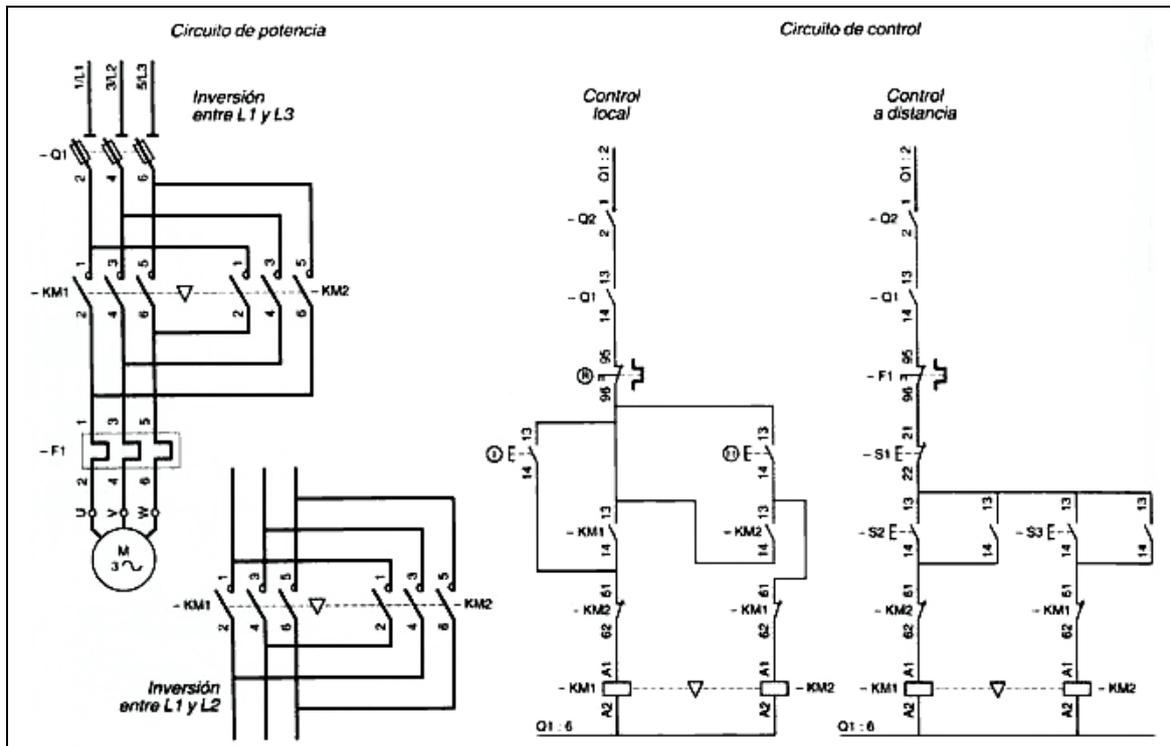


Fig. 2.10 Diagrama de un sistema de inversión de giro

Arranque de un motor trifásico en estrella-Delta.

Los motores trifásicos absorben en el momento de arranque más intensidad de la normal. Este aumento de intensidad en el arranque provoca una sobrecarga en la línea que a su vez origina una caída de tensión pudiendo ser perjudicial para otros receptores. En los motores de jaula de ardilla, la intensidad de arranque supera de tres a siete veces la nominal.

Para evitar este aumento de intensidad se utiliza el arranque estrella-delta, que consiste en conectar el motor en estrella a la tensión correspondiente a triángulo, transcurrido unos segundos, cuando el motor casi ha alcanzado su velocidad nominal, se pasa a delta.

Para que se puede efectuar el arranque estrella, la tensión de la línea debe ser igual a la correspondiente a la tensión en delta del motor, o sea la menor indicada en la placa de características del motor, en la Fig. 2.11 se muestra el diagrama eléctrico de un sistema automático.

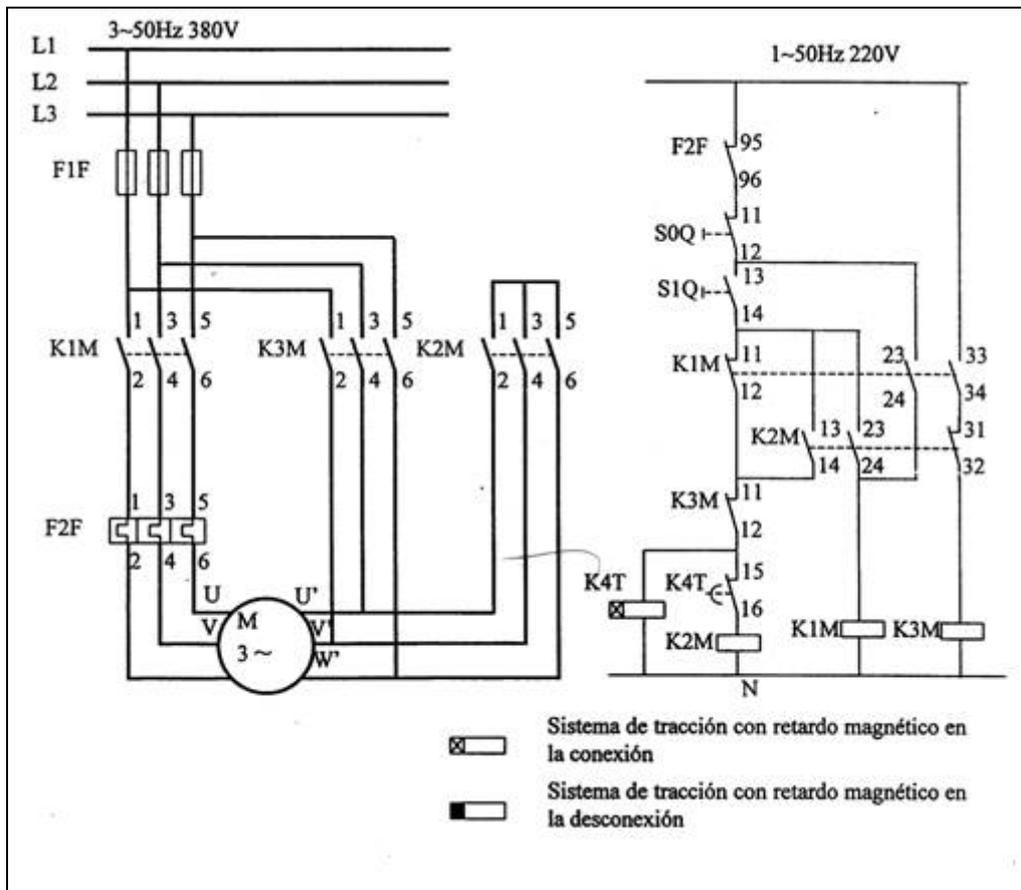


Fig. 2.11 Diagrama eléctrico de un sistema de arranque estrella-Delta.

El conmutador estrella-triángulo es el aparato utilizado para este tipo de arranque, que permite el arranque del motor en estrella y luego en delta.

Éstos conmutadores pueden ser:

- Manuales: de cuchillas y rotativos.
- Automáticos: por medio de contactores.

Arranque de motores a tensión reducida.

Este procedimiento consiste en intercalar durante el periodo de arranque unas resistencias en serie entre la línea y el estator, limitando así la punta de intensidad en el arranque, la misma proporción que la tensión en bornes del motor y el par de arranque en la razón del cuadrado de esta reducción.

La eliminación de estas resistencias se realiza manual o automáticamente en uno o más puntos según la potencia del motor y las características de la máquina accionada. Normalmente se realiza en dos tiempos. Durante el primer tiempo (eliminación de la primera mitad de las resistencias) se obtiene un par de arranque igual al conseguido en una estrella-triángulo, la punta de intensidad será más elevada.

En el segundo tiempo se cortocircuitan las resistencias y el motor queda conectado a plena tensión. La punta de intensidad y el par de arranque queda al comienzo de este tiempo son más débiles que el arranque estrella-triángulo, ya que se realiza a una velocidad superior. Se utiliza para el accionamiento de máquinas centrífugas y cuyo par resistente es bajo durante su periodo de arranque, aunque se pueda aumentar en velocidad.

2.3 Diagramas eléctricos

La forma mas practica de representar un circuito de control eléctrico es a través de diagramas existen muchos tipos de diagramas eléctricos y llevaría mucho tiempo explicar todos estos por lo que solo explicaremos los más comunes y que usaremos en nuestro proyecto.

Diagrama de alambrado

El diagrama de alambrado muestra tan cerca como es posible, la localización real de todas las partes componentes del arrancador. Como se indican todas las conexiones y marcas terminales, éste tipo de diagramas resulta de mucha ayuda cuando se trata de alambrear el arrancador o de localizar los alambres cuando se trata de algún problema.

Convencionalmente en equipos magnéticos de corriente alterna, los alambres en negro se usan en circuitos de potencia y el alambrado en rojo se usa para los circuitos de control.

Un diagrama alambrado, sin embargo, está limitado en su capacidad para convertir un esquema en un detalle de la secuencia de operación de un controlador como el que se muestra en la Fig. 2.12.

Cuando se desee una ilustración del circuito en su forma más simple, se utiliza el diagrama elemental.

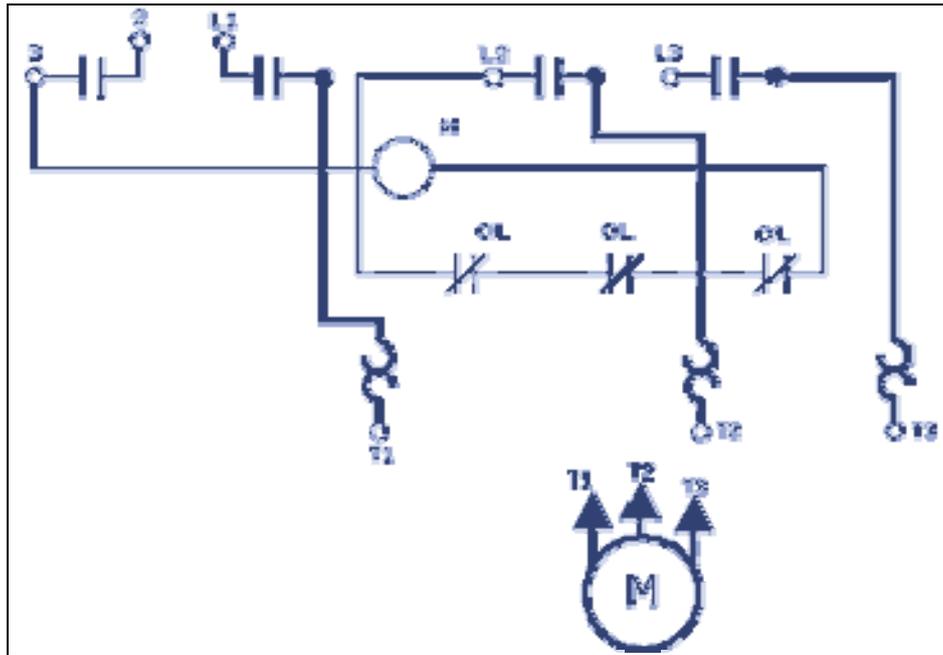


Fig. 2.12 Diagrama de alambrado

Diagrama elemental.

El diagrama elemental proporciona una delimitación del circuito en forma rápida y fácilmente entendible. No se indican en él los dispositivos y componentes en sus posiciones reales. Todos los componentes del circuito de control, se indican tan directamente como sea posible, entre un par de líneas verticales que representan el control del suministro de energía. El arreglo de los componentes se diseña para mostrar la secuencia de operación de los dispositivos y ayuda a entender la forma en que opera el circuito como en el diagrama mostrado en la fig. 2.13. El efecto de operar varios dispositivos de control entrelazados con contactos auxiliares puede ser fácilmente observado, esto ayuda en el acto a encontrar los problemas que se presenten, particularmente con los controladores más complejos.

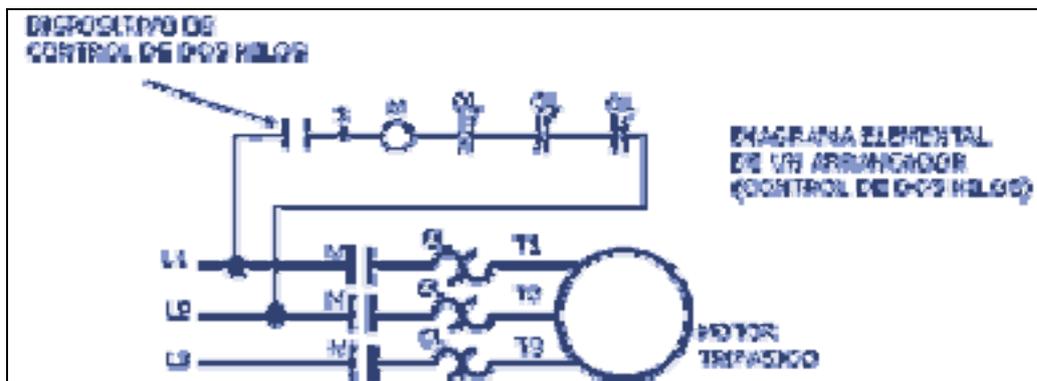


Fig.2.13 Diagrama Elemental

El circuito de retención es un contacto auxiliar normalmente abierto que se encuentra en los arrancadores magnéticos normales y en los contactores. Se cierra cuando la bobina está excitada para formar un circuito sostenido en el arrancador, después de que el circuito de “arranque” haya sido liberado.

Diagrama de escalera o control a dos hilos.

Se dice "control a dos hilos" porque en un circuito básico, únicamente se requieren 2 hilos para conectar el dispositivo piloto al arrancador (el dispositivo piloto puede ser algún interruptor de límite, presión, etc.)

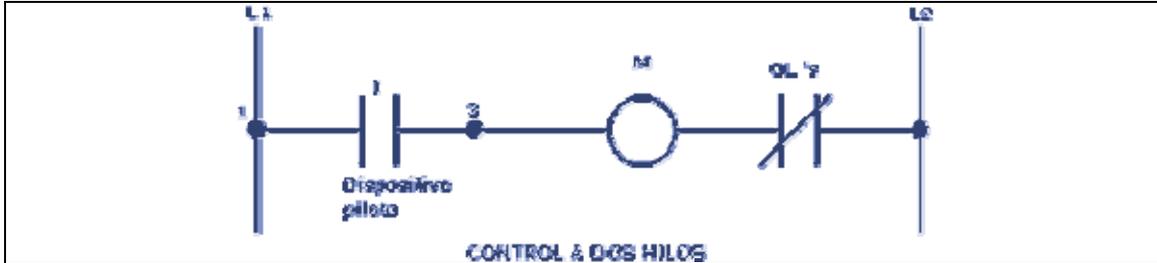


Fig. 2.14 Diagrama de escalera basico.

Utilicemos esta misma figura para explicar el funcionamiento de lo que conocemos como disparo por bajo voltaje. Este control a 2 hilos, utiliza un dispositivo piloto con contacto mantenido que está conectado en serie con la bobina del arrancador. Cuando queremos que un arrancador funcione automáticamente sin la atención de un operador utilizamos este diagrama; si ocurre una falla en los circuitos de fuerza mientras que los contactos de I están cerrados, entonces el arrancador se abrirá, cuando se restaura el circuito de fuerza, el arrancador cerrará automáticamente a través del contacto mantenido del dispositivo piloto.

Todos los circuitos vistos anteriormente (desde los circuitos Y y circuitos O) son muy básicos, pero fundamentales para entender el funcionamiento de circuitos de control más complejos, también tenemos que conocer qué nos indican los diferentes símbolos usados y sus nomenclaturas; si sabemos interpretar un diagrama eléctrico, un circuito de control o un diagrama de escalera, nos será fácil entender cómo opera y qué es lo que está haciendo un PLC, comprenderemos mejor el funcionamiento de un sistema y podremos escribir mejores programas, y lo que puede ser más importante diagnosticar y resolver problemas ya sea en el hardware o en el software de un sistema de control automático.

Antes de comenzar a conocer los diferentes tipos de dispositivos que podemos utilizar como entradas o salidas de nuestro PLC tomemos este otro ejemplo con el que podemos realizar una pulsación momentánea usando un interruptor selector, excitado mediante el botón de arranque.

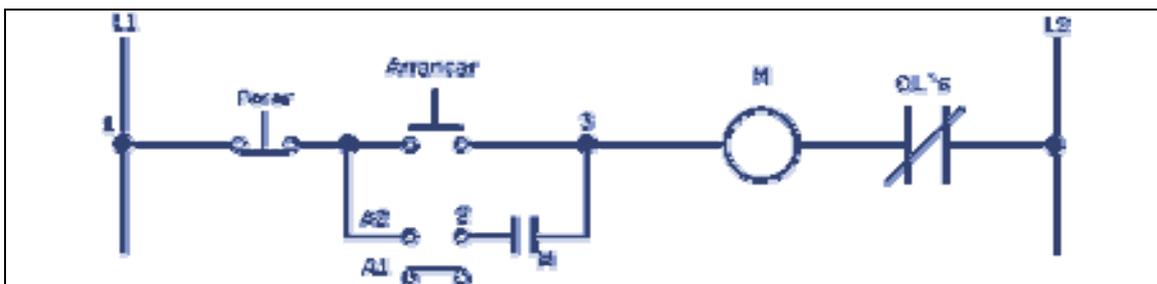


Fig. 2.15 Diagrama de escalera de un sistema de control de arranque y paro de un motor eléctrico.

NEMA, define a la pulsación momentánea o “paso a paso”, como la operación momentánea de un motor desde el reposo, con el propósito de realizar pequeños movimientos en el manejo de las máquinas. Normalmente en el ambiente industrial el dispositivo que realiza ésta operación es un botón pulsador conocido como Jog.

Un sencillo método de pulsación es mostrado arriba, el interruptor selector desconecta el contacto M de enclave (o sostén) en el circuito y entonces, puede efectuarse la pulsación momentánea oprimiendo el botón de arranque.

2.4. Control electrónico.

En la actualidad la tendencia esta siendo el sustituir los sistemas de control convencionales por sistemas de control electrónicos como SCR y la lógica digital debido a sus grandes ventajas como son : costo económico mas bajo, menor consume de corriente, mayor flexibilidad, menor espacio requerido para su montaje entre otras muchas.

2.4.1 Tiristores y Triac's

El Tiristor

Un tiristor es un rectificador controlado, donde la corriente que circula de forma unidireccional desde el ánodo al cátodo, esta circulación de corriente es iniciada por una corriente pequeña de señal desde la puerta al cátodo.

Disparo del tiristor

Un tiristor es encendido haciendo su puerta positiva con el respecto a su cátodo, esto hace que circule corriente en la compuerta. Cuando el voltaje de puerta alcanza el voltaje de umbral V_{GT} , hace que la corriente de compuerta I_{GT} , llegue al valor umbral dentro de un tiempo muy corto conocido como “tiempo de encendido, controlado por compuerta”, t_{gt} , la corriente de carga puede fluir desde 'a' a 'k'. Si la corriente de puerta consiste de un pulso muy estrecho, por ejemplo menos de 1ms, su nivel de pico tendrá que aumentar para anchos de pulso progresivamente más estrechos para garantizar el disparo efectuado de esta manera.

Cuando la corriente de carga aumente, hasta el valor de corriente de enganche (latching) del tiristor, la corriente de carga se mantendrá pareja después de la remoción de la corriente de puerta. Mientras la corriente adecuada de carga continúa circulando, el tiristor continuará conduciendo, sin la corriente de puerta. Esto es lo que denominamos tiristor disparado.

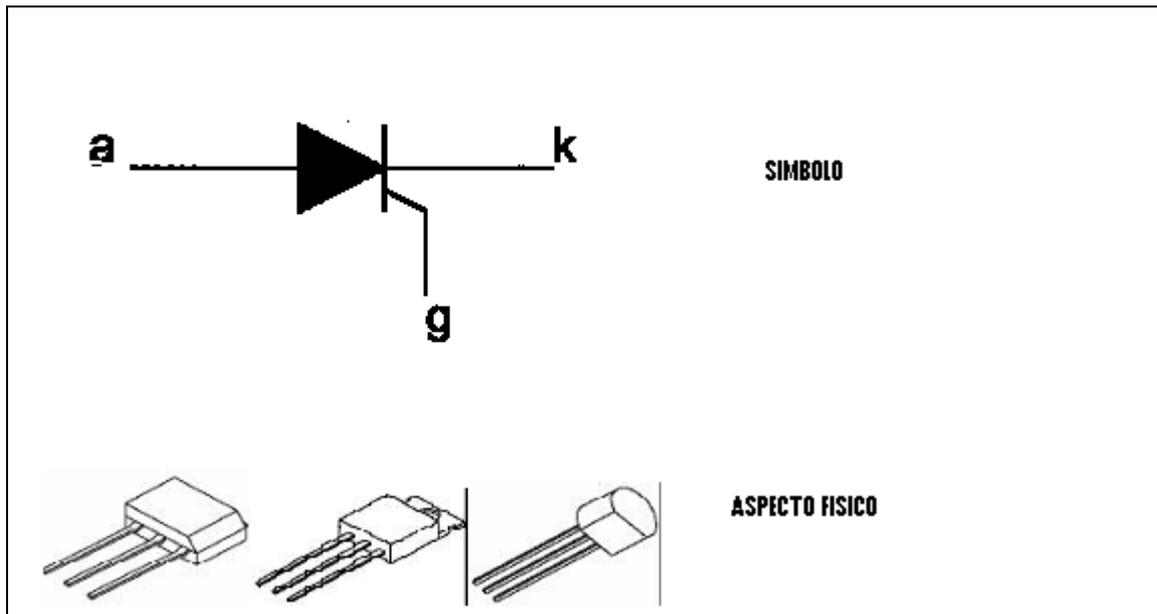


Fig. 2.16 Tiristor

Para disparar un tiristor (o triac), una corriente de compuerta / I_{GT} debe aplicarse hasta que la corriente de carga sea / I_L . Esta condición debe encontrarse también al bajar la temperatura de funcionamiento esperada.

El tiristor de puerta sensible (sensitive gate), tal como el anterior puede ser proclive a dispararse por corriente de fuga (ánodo a cátodo), a altas temperaturas. Si la temperatura de juntura T_J es incrementada por encima de T_{jmax} , en este punto las corrientes de fuga son tales que pueden alcanzar la corriente de disparo del tiristor o triac. Por lo cual puede ser conveniente su reemplazo o bien tener en cuenta este efecto al momento de su utilización.

Para resolver los problemas de los disparos no deseados (espurios o aleatorios) se pueden seguir algunos de los siguientes métodos:

1. Asegurarse que la temperatura no exceda a T_{jmax} .
2. Utilizar un tiristor con compuerta menos sensible por ejemplo el BT151, o reducir la sensibilidad del tiristor existente por una resistencia de 1kohm o menor entre el cátodo y la compuerta (resistencia de desensibilización).
3. Si esto no es posible utilizar un tiristor de menor sensibilidad en compuerta, aplicar en la compuerta una pequeña señal negativa durante los periodos de inactividad del tiristor en cuestión. Esta señal tiene el efecto de incrementar I_L . Durante la circulación de corriente negativa, debe tenerse una particular atención a fin de minimizar la potencia disipada en compuerta.

Apagado (conmutación)

Para apagar al tiristor, la corriente de carga debe reducirse por debajo de la I_H (corriente de mantenimiento), por el tiempo suficiente para permitir a todos los portadores evacuar la juntura. Esto es logrado por "conmutación forzada" en circuitos CC o al final del hemicycle de conducción en circuitos de CA. (La conmutación forzada es cuando la corriente de carga neta del circuito ocasiona que la misma se haga cero de forma tal, que el tiristor se apague) A este punto, el tiristor habrá vuelto totalmente a su estado bloqueando. Si la corriente de carga no es mantenida por debajo de I_H por el tiempo suficiente, el tiristor no habrá vuelto totalmente al estado bloqueando, y cuando la tensión ánodo – cátodo suba nuevamente, el tiristor podrá volver al estado de conducción sin excitación de puerta.

Triac

Un triac poder mirarse como un "tiristor bidireccional" debido a que conduce en ambas direcciones. Por el triac estándar, la corriente circula actual en cualquiera de las dos direcciones entre los terminales principales MT1 y MT2. Esto es iniciado por una corriente pequeña de señal aplicada entre el terminal de puerta y MT1.

Encendido

Distinto de los tiristores, el triac estándar puede ser disparado por circulación de corriente positiva o negativa entre compuerta y MT1.

Para apagar (conmutar) un tiristor (o triac), la corriente de carga debe ser $< I_H$ por un tiempo suficiente para permitir que este retorne al estado de bloqueo.

Esta condición tiene que ser satisfecha para alcanzar la mejor operación con la temperatura.

Donde la compuerta debe ser excitada por Corriente Continua o por pulsos unipolares en el cruce por cero de la corriente de carga, corriente negativa de compuerta es la preferida por las siguientes razones.

La construcción interna de los triac medios hace que la compuerta este más alejada desde la región de portadores mayoritarios cuando opera en el 3° cuadrante. Esto resulta en:

1. IGT más alta, esto implica un pico más alto de IG requerido.
2. Retraso mayor entre IG y el principio de la circulación de corriente principal, esto requiere una mayor duración de IG.
3. Mucha menor capacidad de di/dt esto puede implicar una degradación progresiva de puerta cuando controlamos cargas con di/dt iniciales (P.E: filamentos de lámpara incandescente fría).

4. Mayor IL (también cierto para la 1° operación) - > IG más largo, la duración mayor podría necesitarse para cargas muy pequeñas cuando conduzcan desde el comienzo de un hemiciclo para permitir la corriente de carga alcanzar el IL.

En controles comunes de ángulo de fase, como por ejemplo atenuadores de luces y controles de motores universales (taladros de mano), la polaridad de la tensión entre compuerta y MT2 son siempre las mismas. Esto significa la operación es siempre en el 1° o 3° cuadrante, donde los parámetros de conmutación del triac son iguales. Esto resulta en un simétrico funcionamiento de conmutación del triac donde la puerta está a su más sensible estado.

Métodos alternativos de disparo.

Hay algunas maneras indeseables con las que un triac puede encenderse. Algunos son benignas, mientras otras son potencialmente destructivas.

Señal de ruido en la compuerta.

En ambientes eléctricamente ruidosos, disparos espurios pueden ocurrir si el nivel de ruido excede la tensión VGT y si suficiente corriente de puerta circula para iniciar acción regenerativa dentro del triac. La primera línea de defensa es minimizar la ocurrencia del ruido en primer lugar. Uno de los mejores resultados es logrado por realizar las conexiones de puerta tan corta tan sea posible y asegurando que el retorno común desde el circuito de disparo se conecte directamente al terminal MT1 (o cátodo en el caso de un tiristor). (los tiristores y triac de potencia incluyen este terminal en su dispositivo). En situaciones donde las conexiones de puerta son de conductor macizo, par torcido o apantallado podría ser necesario minimizar acortarlo.

La inmunidad adicional de ruido puede proveerse agregando un resistor de 1kΩ o menor entre la puerta y MT1 para reducir la sensibilidad de puerta. También es posible la utilización de un capacitor de tipo cerámico o de poliéster para filtrar las altas frecuencia o dv/dt. La Alternativa de usar una serie **H** de triac (p. ej. BT139-600H). Estos son los tipos insensibles con 10 mA min. de I_{GT}. Estos son triac diseñados específicamente para proveer un alto el grado de inmunidad de ruido.

Excediendo el valor permitido de dv/dt

Esta es la más probable ocurrencia cuando tenemos una carga altamente reactiva, donde existe un considerable desfase entre la tensión de carga y la corriente de la misma. Cuando el triac conmuta, esto es la corriente se hace cero, la tensión aplicada en los bornes del mismo no es cero, debido al desfase entre ambas magnitudes.

Métodos de Montaje para triacs

Para cargas pequeñas o de corriente de muy corta duración (es decir menos de 1 segundo), podría ser posible operar el triac en el aire libre. En la mayoría de los casos, sin embargo, se fijaría al disipador de calor o al chasis del equipo (siempre que pueda disipar calor). Los tres métodos principales de sujetar el triac al disipador son:

- a) broche o clip
- b) atornillando
- c) remachando.

2.4.2 Sistemas digitales

Debido a que en la actualidad los sistemas de control se hacen cada vez más complejos resulta ya muy difícil seguir diseñándolos en base a sistemas de relevadores por lo que se ha recurrido a la lógica digital con la cual ya no existen límites en cuanto a la capacidad de control además de que es mucho más sencillo realizar modificaciones a nuestro sistema de control.

2.4.2.1 Compuertas lógicas

Una **puerta lógica**, o **compuerta lógica**, es un dispositivo electrónico que es la expresión física de un operador booleano en la lógica de conmutación. Cada puerta lógica consiste en una red de dispositivos interruptores que cumple las condiciones booleanas para el operador particular. Son esencialmente circuitos de conmutación integrados en un chip.

Claude Elwood Shannon experimentaba con relés o interruptores electromagnéticos para conseguir las condiciones de cada compuerta lógica, por ejemplo, para la función booleana **Y** (AND) colocaba interruptores en circuito serie, ya que con uno solo de éstos que tuviera la condición «abierto», la salida de la compuerta **Y** sería = 0, mientras que para la implementación de una compuerta **O** (OR), la conexión de los interruptores tiene una configuración en circuito paralelo.

La tecnología microelectrónica actual permite la elevada integración de transistores actuando como conmutadores en redes lógicas dentro de un pequeño circuito integrado. El chip de la CPU es una de las máximas expresiones de este avance tecnológico.

En compuerta lógica molecular, que haga posible la miniaturización de circuitos.

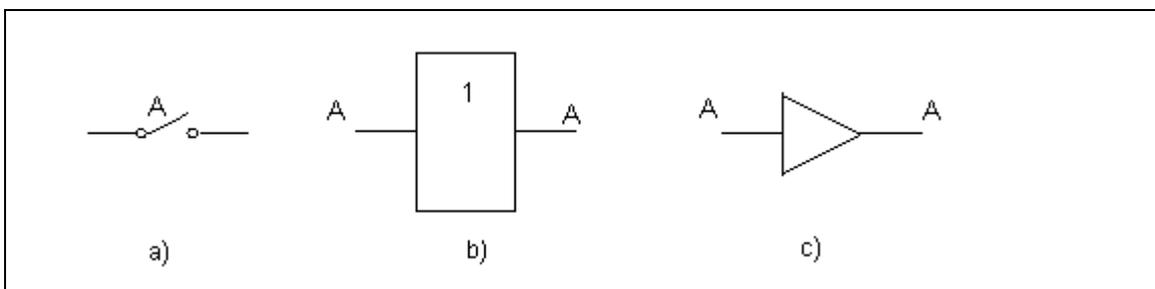


Fig. 2.17 Símbolo de la función lógica SI a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica **SI**, realiza la función booleana igualdad. En la práctica se suele utilizar como amplificador de corriente (buffer en inglés).

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta SI es:

$$F = A$$

Su tabla de verdad es la 2.1:

Tabla de verdad puerta SI	
Entrada A	Salida A
0	0
1	1

Tabla 2.1

Puerta Y (AND)

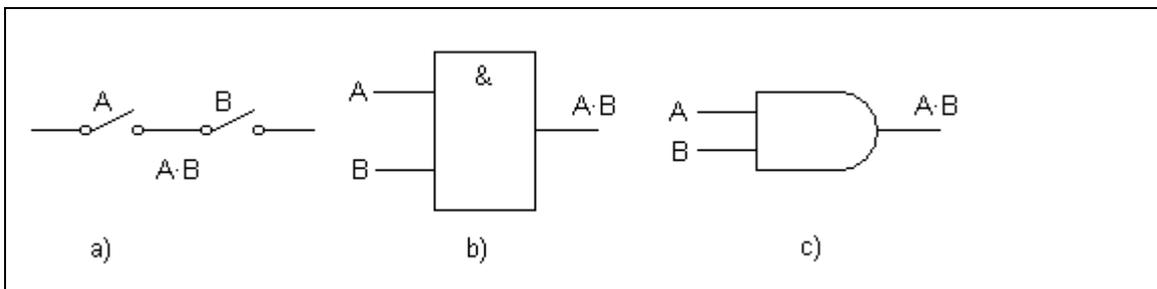


Fig. 2.18 Símbolo de la función lógica Y a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica **Y**, más conocida por su nombre en inglés *AND*, realiza la función booleana de producto lógico. Su símbolo es un punto (\cdot), aunque se suele omitir. Así, el producto lógico de las variables A y B se indica como AB, y se lee A y B o simplemente A por B.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta AND es:

$$F = A.B$$

Su tabla de verdad es la 2.2:

Tabla de verdad puerta AND		
Entrada A	Entrada B	Salida AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 2.2

Se puede definir la puerta AND, como aquella compuerta que entrega un **1** lógico sólo si todas las entradas están a *nivel alto* **1**.

Puerta O (OR)

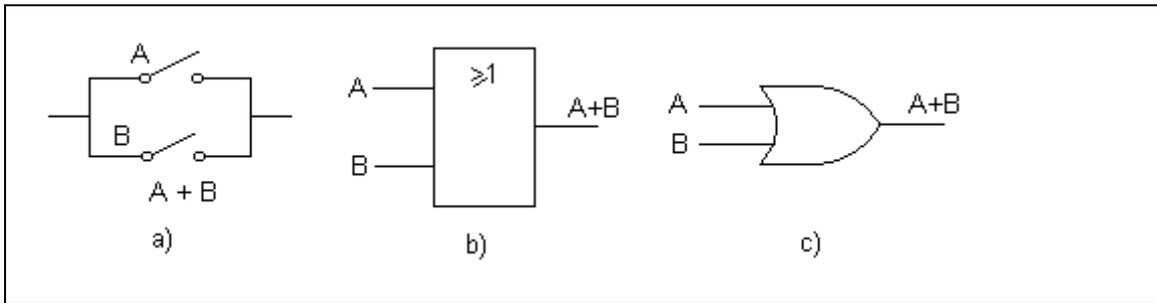


Fig. 2.19 Símbolo de la función lógica O a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica **O**, más conocida por su nombre en inglés *OR*, realiza la operación de suma lógica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta OR es:

$$F = A + B$$

Su tabla de verdad es la 2.3:

Tabla de verdad puerta OR		
Entrada A	Entrada B	Salida A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Tabla 2.3

Podemos definir la puerta O como aquella que proporciona a su salida un **1** lógico si al menos una de sus entradas está a **1**.

Puerta OR-exclusiva (XOR)

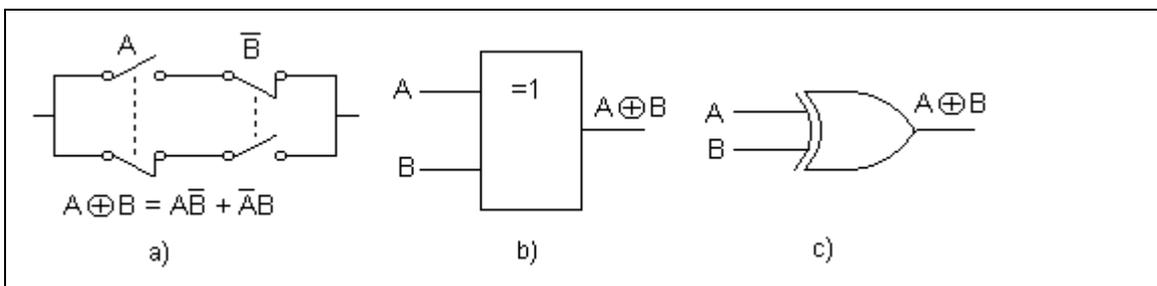


Fig. 2.20 Símbolo de la función lógica O-exclusiva. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica O-exclusiva, más conocida por su nombre en inglés *XOR*, realiza la función booleana $A'B+AB'$. Su símbolo es el más (+) inscrito en un círculo. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta XOR es:

$$F = A \oplus B$$

Su tabla de verdad es la 2.4:

Tabla de verdad puerta XOR		
Entrada A	Entrada B	Salida $A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla 2.4

Se puede definir esta puerta como aquella que da por resultado uno, cuando los valores en las entradas son distintos. Ej.: 1 y 0, 0 y 1 (en una compuerta de dos entradas).

Si la puerta tuviese tres o más entradas, la XOR tomaría la función de suma de paridad, cuenta el número de unos a la entrada y si son un número impar, pone un 1 a la salida, para que el número de unos pase a ser par. Esto es así porque la operación XOR es asociativa, para tres entradas escribiríamos: $a \oplus (b \oplus c)$ o bien $(a \oplus b) \oplus c$. Su tabla de verdad sería la de la tabla 2.5:

XOR de tres entradas			
Entrada A	Entrada B	Entrada C	Salida $A \oplus B \oplus C$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Lógica negada

Puerta NO (NOT)

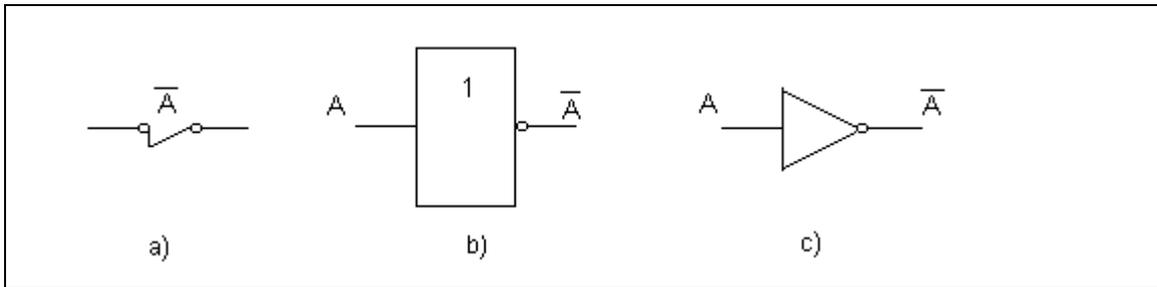


Fig. 2.21 Símbolo de la función lógica NO a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La puerta lógica NO (*NOT* en inglés) realiza la función booleana de inversión o negación de una variable lógica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta NOT es:

$$F = \bar{A}$$

Su tabla de verdad es la 2.6:

Tabla de verdad puerta NOT	
Entrada A	Salida \bar{A}
0	1
1	0

Tabla 2.6

Se puede definir como una puerta que proporciona el estado inverso del que esté en su entrada.

Puerta NO-Y (NAND)

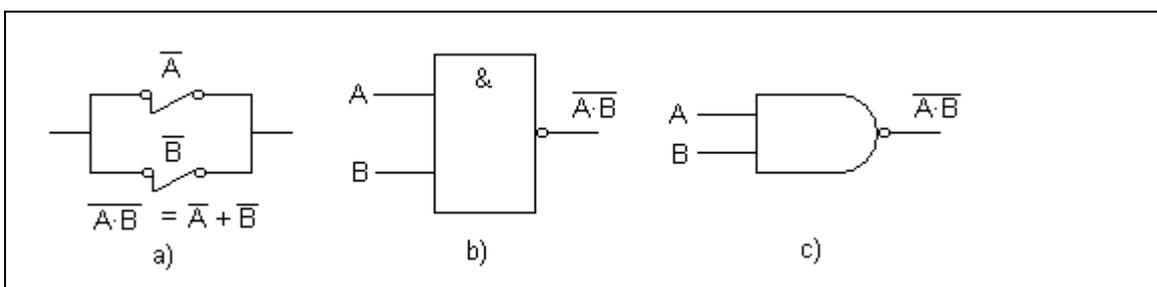


Fig. 2.22 Símbolo de la función lógica NO-Y. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La **puerta lógica NO-Y**, más conocida por su nombre en inglés *NAND*, realiza la operación de producto lógico negado. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta NAND es:

$$F = \overline{AB} = \overline{A} + \overline{B}$$

Su tabla de verdad es 2.7:

Tabla de verdad puerta NAND		
Entrada A	Entrada B	Salida \overline{AB}
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla 2.7

Podemos definir la puerta NO-Y como aquella que proporciona a su salida un **0** lógico únicamente cuando todas sus entradas están a **1**.

Puerta NO-O (NOR)

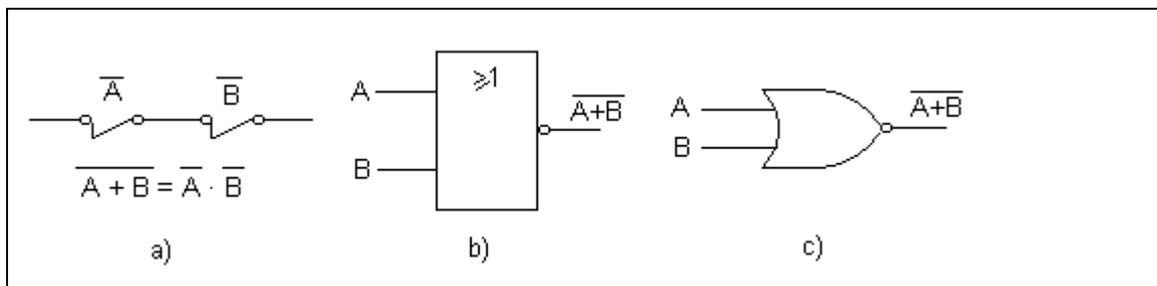


Fig. 2.23 Símbolo de la función lógica NO-O. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La **puerta lógica NO-O**, más conocida por su nombre en inglés *NOR*, realiza la operación de suma lógica negada. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica.

La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta NOR es:

$$F = \overline{A + B} = \overline{A} \times \overline{B}$$

Su tabla de verdad es la 2.8:

Tabla de verdad puerta NOR		
Entrada A	Entrada B	Salida $\overline{A + B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Tabla 2.8

Podemos definir la puerta **NO-O** como aquella que proporciona a su salida un **1** lógico sólo cuando todas sus entradas están a **0**. La puerta lógica NOR constituye un conjunto completo de operadores.

Puerta equivalencia (XNOR)

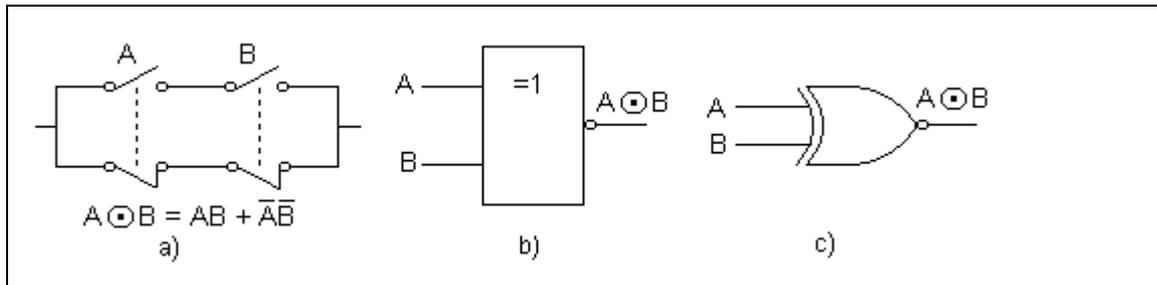


Fig. 2.24 Símbolo de la función lógica equivalencia. a) Contactos, b) Normalizado y c) No normalizado

La **puerta lógica equivalencia**, más conocida por su nombre en inglés *XNOR*, realiza la función booleana $AB + A'B'$. Su símbolo es un punto (·) inscrito en un círculo. En la figura de la derecha pueden observarse sus símbolos en electrónica. La ecuación característica que describe el comportamiento de la puerta XNOR es:

$$F = \overline{A \oplus B}$$

Su tabla de verdad es 2.9:

Tabla de verdad puerta XNOR		
Entrada A	Entrada B	Salida $\overline{A \oplus B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 2.9

Se puede definir esta puerta como aquella que proporciona un **1** lógico, sólo si las dos entradas son iguales, esto es, **0** y **0** ó **1** y **1**

2.4.2.2 Circuitos secuenciales.

Para resolver el problema de control en sistemas secuenciales, para crear memorias contadores, comparadores etc., se utilizan circuitos secuenciales o biestables mejor conocidos como flip-flop.

Un biestable, también llamado báscula (*flip-flop* en inglés), es un multivibrador capaz de permanecer en un estado determinado o en el contrario durante un tiempo indefinido. Esta característica es ampliamente utilizada en electrónica digital para memorizar información. El paso de un estado a otro se realiza variando sus entradas. Dependiendo del tipo de dichas entradas los biestables se dividen en:

- Asíncronos: sólo tienen entradas de control. El más empleado es el biestable RS.
- Sincrónicos: además de las entradas de control posee una entrada de sincronismo o de reloj. Si las entradas de control dependen de la de sincronismo se denominan síncronas y en caso contrario asíncronas. Por lo general, las entradas de control asíncronas prevalecen sobre las síncronas.

La entrada de sincronismo puede ser activada por nivel (alto o bajo) o por flanco (de subida o de bajada). Dentro de los biestables síncronos activados por nivel están los tipos RS y D, y dentro de los activos por flancos los tipos JK, T y D.

Biestable RS

Descripción

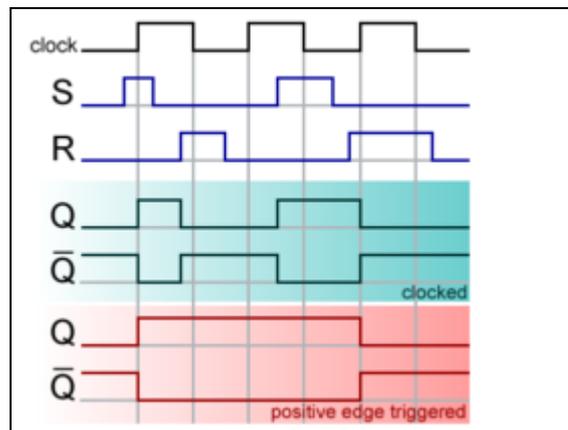


Fig. 2.25 Cronograma del biestable RS

Dispositivo de almacenamiento temporal de dos estados (alto y bajo), cuyas entradas principales, R y S, a las que debe el nombre, permiten al ser activadas:

- R: el borrado (*reset* en inglés), puesta a 0 ó nivel bajo de la salida.
- S: el grabado (*set* en inglés), puesta a 1 ó nivel alto de la salida.

Si no se activa ninguna de las entradas, el biestable permanece en el estado que poseía tras la última operación de borrado o grabado. En ningún caso deberían activarse ambas entradas a la vez, ya que esto provoca que las salidas directa (Q) y negada (Q') queden con el mismo valor: a bajo, si la báscula está construida con puertas NO-O (NOR), o a alto, si con puertas NO-Y (NAND). El problema de que ambas salidas queden al mismo estado está en que al desactivar ambas entradas no se podrá determinar el estado en el que quedaría la salida. Por eso, en las tablas de verdad, la activación de ambas entradas se contempla como caso no deseado (N. D.).

Biestable RS asíncrono

Sólo posee las entradas R y S. Se compone internamente de dos puertas lógicas NO-Y o NO-O, según se muestra en la siguiente figura 2.26:

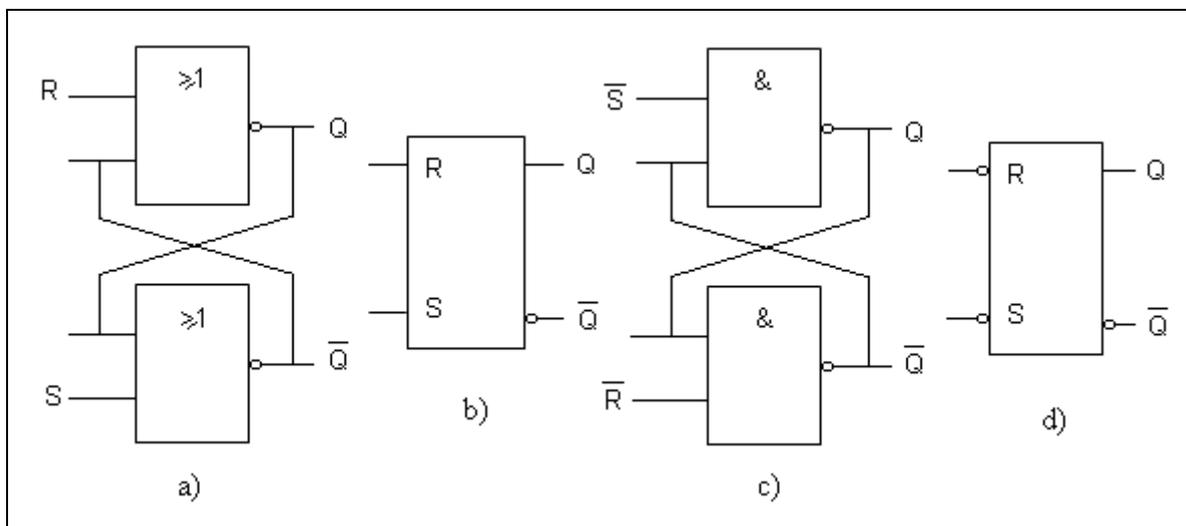


Fig. 2.26 Biestables RS con puertas NO-O, a), NO-Y, c), y símbolos normalizados respectivos b) y d).

Su tabla de verdad es la 2.10 (Q representa el estado actual de la salida y q el estado anterior a la última activación):

Tabla de verdad biestable RS			
R	S	Q (NO-O)	Q' (NO-Y)
0	0	q	N. D.
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	N. D.	q
N. D.= Estado no determinado			

Tabal 2.10

Biestable RS sincrono

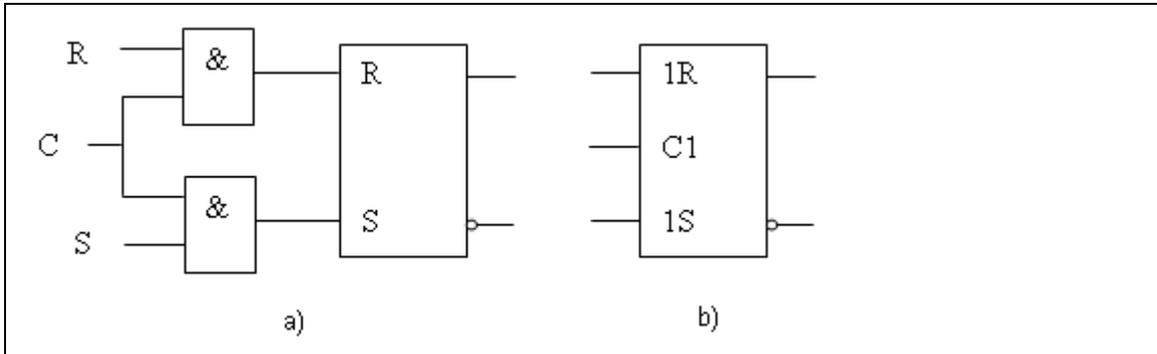


Fig. 2.27 Circuito Biestable RS sincrono a) y esquema normalizado b).

Además de las entradas R y S, posee una entrada C de sincronismo cuya misión es la de permitir o no el cambio de estado del biestable. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un biestable sincrono a partir de una asíncrona, junto con su esquema normalizado:

Su tabla de verdad es la 2.11 :

Tabla de verdad biestable RS			
C	R	S	Q (NO-O)
0	X	X	q
1	0	0	q
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	N. D.
X=no importa			

Tabla 2.11

Biestable D

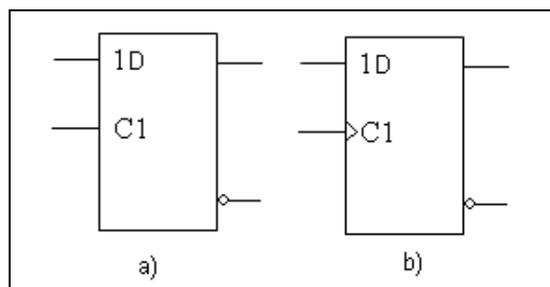


Fig. 2.28 Símbolos normalizados: Biestables D a) activo por nivel alto y b) activo flanco de subida.

Dispositivo de almacenamiento temporal de dos estados (alto y bajo), cuya salida adquiere el valor de la entrada D cuando se activa la entrada de sincronismo, C. En función del modo de activación de dicha entrada de sincronismo, existen dos tipos de biestables D:

- Activo por nivel (alto o bajo), también denominado registro o cerrojo (*latch* en inglés).
- Activo por flanco (de subida o de bajada).

La ecuación característica del biestable D que describe su comportamiento es:

$$Q_{siguiente} = D$$

y su tabla de verdad es la 2.12:

D	Q	Q _{siguiente}
0	X	0
1	X	1
X=no importa		

Tabla 2.12

Esta báscula puede verse como una primitiva línea de retardo o una retención de orden cero (*zero order hold* en inglés), ya que los datos que se introducen, se obtienen en la salida un ciclo de reloj después. Esta característica es aprovechada para sintetizar funciones de procesamiento digital de señales (DSP en inglés) mediante la transformada en z.

Biestable T

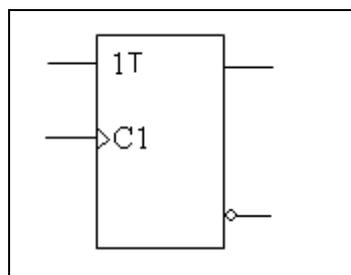


Fig. 2.29 Símbolo normalizado: Biestable T activo por flanco de subida.

Dispositivo de almacenamiento temporal de dos estados (alto y bajo). El biestable T cambia de estado ("toggle" en inglés) cada vez que la entrada de sincronismo o de reloj se dispara. Si la entrada T está a nivel bajo, el biestable retiene el nivel previo. Puede obtenerse al unir las entradas de control de un biestable JK, unión que se corresponde a la entrada T.

La ecuación característica del biestable T que describe su comportamiento es:

$$Q_{siguiente} = T \oplus Q$$

y la tabla de verdades la 2.13:

T	Q	Q _{siguiente}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabal 2.12

Biestable JK

Descripción

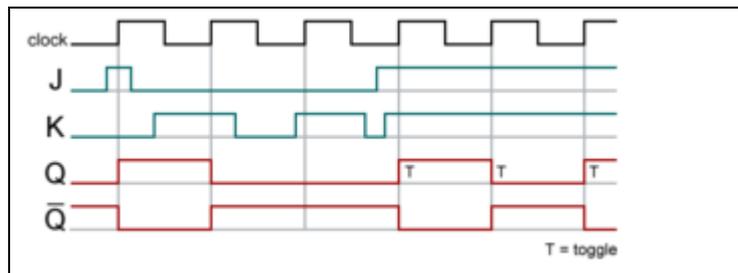


Fig. 2.30Cronograma de la báscula JK

Dispositivo de almacenamiento temporal de dos estados (alto y bajo), cuyas entradas principales, J y K, a las que debe el nombre, permiten al ser activadas:

- J: El grabado (*set* en inglés), puesta a 1 ó nivel alto de la salida.
- K: El borrado (*reset* en inglés), puesta a 0 ó nivel bajo de la salida.

Si no se activa ninguna de las entradas, el biestable permanece en el estado que poseía tras la última operación de borrado o grabado. A diferencia del biestable RS, en el caso de activarse ambas entradas a la vez, la salida adquirirá el estado contrario al que tenía.

La ecuación característica del biestable JK que describe su comportamiento es:

$$Q_{siguiente} = J\bar{Q} + \bar{K}Q$$

Y su tabla de verdad es la 2.13:

J	K	Q	Q _{siguiente}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	X	0
1	0	X	1
1	1	0	1
1	1	1	0
X=no importa			

Tabla 2.13

Una forma más compacta de la tabla de verdad es la 2.14 (**Q** representa el estado siguiente de la salida en el próximo flanco de reloj y **q** el estado actual):

J	K	Q
0	0	q
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{q}

Tabla2.14

El biestable se denomina así por Jack Kilby, el inventor de los circuitos integrados en 1958, por lo cual se le concedió el Premio Nobel en física de 2000.

Biestable JK activo por flanco

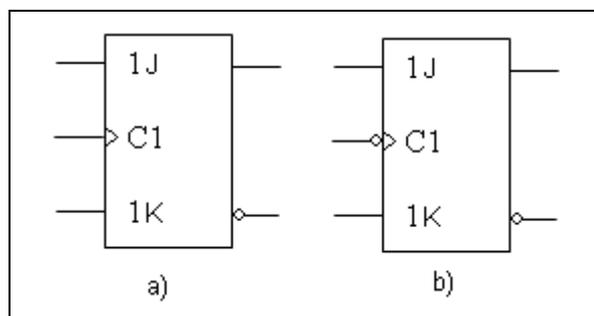


Fig. 2.31 Símbolos normalizados: Biestables JK activo a) por flanco de subida y b) por flanco de bajada

Junto con las entradas J y K existe una entrada C de sincronismo o de reloj cuya misión es la de permitir el cambio de estado del biestable cuando se produce un flanco de subida o de bajada, según sea su diseño. Su denominación en inglés es *J-K Flip-Flop Edge-Triggered*. De acuerdo con la tabla de verdad, cuando las entradas J y K están a nivel lógico 1, a cada flanco activo en la entrada de reloj, la salida del biestable cambia de estado. A este modo de funcionamiento se le denomina modo de basculación (*toggle* en inglés)

Biestable JK Maestro-Eslavo

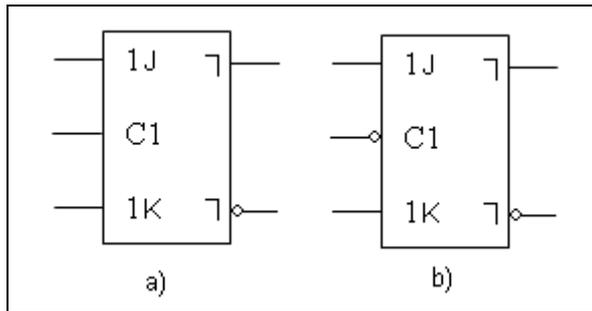


Fig. 2.32 Símbolos normalizados: Biestable JK Maestro-Eslavo
 a) activo por nivel alto y b) activo por nivel bajo

Aunque aún puede encontrarse en algunos equipos, este tipo de biestable, denominado en inglés *J-K Flip-Flop Master-Slave*, ha quedado obsoleto ya que ha sido reemplazado por el tipo anterior.

Su funcionamiento es similar al JK activo por flanco: en el nivel alto (o bajo) se toman los valores de las entradas J y K y en el flanco de bajada (o de subida) se refleja en la salida.

Otra forma de expresar la tabla de verdad del biestable JK es mediante la denominada tabla de excitación:

q	Q	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Tabla 2.15

2.4.2.3 Dispositivos lógicos programables

El Incremento de popularidad y de utilización de los dispositivos lógicos programables o PLD's está siguiendo un proceso solamente comparable al que hace algunos años acompañó a los microprocesadores *debido a que en un solo circuito integrado se hace lo que anteriormente implicaría varios C.I.* Los PLD's se utilizan en casi todos los nuevos equipos electrónicos de control, industriales, de consumo, de oficina, de comunicaciones, etc.

Desde finales de la década de los sesenta, los equipos electrónicos digitales se han construido utilizando circuitos integrados de función lógica fija, realizados en pequeña o mediana escala de integración. Para las realizaciones muy complejas que exigirían un número elevado de circuitos integrados (CI) de función fija, se utilizan circuitos diseñados a medida que sólo sirven para una aplicación. Son los llamados CI específicos a una aplicación o ASIC (Application Specific Integrated Circuit). Por regla general, los ASIC's los producen los fabricantes de CI con las especificaciones proporcionadas por el usuario.

Los equipos realizados con ASIC's ocupan menos espacio, son más fiables, consumen menos energía y en grandes series resultan más baratos que los equipos equivalentes realizados con CI de función fija. Por otro lado, estos circuitos son muy difíciles de copiar.

Diferentes modalidades de ASICs son; los Circuitos a Medida (Full Custom), las Matrices de Puertas (Gate Arrays), las Células Normalizadas (Standard Cell) y los FPIC's (Field Programmable Integrated Circuits); estos últimos son circuitos programables por el usuario final.

Clases de Dispositivos Lógicos Programables.

Circuitos integrados a medida.

Los Circuitos Integrados a Medida (Full Custom), se diseñan a petición de un cliente para que resuelvan una determinada aplicación. Conllevan un alto coste de desarrollo y su empleo sólo se justifica para volúmenes de producción muy elevados. El tiempo necesario para la construcción de un CI a medida es considerable ya que puede oscilar de unos meses a unos años.

Matrices de puertas.

Las Matrices de puertas (Gate Arrays) son pequeños trozos de silicio pendientes de algún proceso de metalización que defina las conexiones entre un importante número de puertas o transistores que poseen en su interior. Las matrices de puertas proporcionan densidades superiores a las 100.000 puertas, con un aprovechamiento del 80 al 90 por 100 para los dispositivos pequeños y del 40 por 100 para los grandes.

Los fabricantes de silicio ponen a disposición de sus potenciales clientes abundante documentación sobre estos Gate Arrays, con una serie de macros que pueden utilizar de forma inmediata y otras que pueden construirse ellos mismos. Los macros son agrupaciones de un número de células básicas que realizan funciones comunes como; sumadores; puertas NOT, AND, NAND, NOR XOR, etc.; latches y flip-flops S-R, J-K, D; buffer; osciladores; registros, decodificadores, multiplexores, etc.

Junto a esta documentación, los fabricantes aportan un software que contabiliza el número de células básicas utilizadas por todas las macros, sugiere el Gate Array adecuado para la aplicación, calcula la potencia disipada por el Gate Array que alojará el diseño del cliente, proporciona información sobre los tiempos de propagación de las señales y permite verificar el funcionamiento del circuito.

Una vez superadas todas las etapas previas, el cliente envía la documentación generada al fabricante para que éste ultime los procesos de metalización y fabrique un primer prototipo. El diseño con Gate Arrays puede durar semanas o meses. Requiere un volumen alto de circuitos para justificar sus costes.

Células normalizadas.

Las células normalizadas (Standard Cell) son, en cierta forma, similares a las matrices de puertas. Su principal ventaja sobre ellas es que en lugar de trabajar con simples puertas o transistores, se dispone de colecciones de diferentes partes de circuitos que han sido depurados (puertas lógicas, circuitos MSI, RAM estáticas, ficheros de registro, etcétera). El usuario tiene que ensamblar estos circuitos, verificarlos y finalmente enviar documentación al fabricante de silicio para el desarrollo del primer prototipo. A pesar del concepto de célula normalizada, los períodos y los costes de desarrollo son superiores a los de las matrices de puertas.

En las matrices de puertas sólo hay que realizar la máscara final que define las conexiones entre las puertas, mientras que en las células normalizadas, hay que realizar máscaras para todos los procesos de producción de los CI. Una vez más, el volumen de fabricación deberá ser lo suficientemente alto como para amortizar la inversión económica realizada en el desarrollo.

FPIC's.

Los FPIC's (Field Programmable Integrated Circuits): son chips programables por el usuario mediante programadores comerciales. El término FPIC también incluye a los CI no destinados a las aplicaciones lógicas. Son las memorias, los microcontroladores, los PLD (Programmable Logic Device), las FPGA (Field Programmable Gate Array) y los ASPLD (Aplication Specific Programmable Logic Devices).

Los FPIC ofrecen soluciones de bajo coste, de tiempo de desarrollo corto y con menor riesgo que los circuitos a medida, las matrices de puertas y las células normalizadas.

PLD's.

Los PLD's (Programmable Logic Devices) son pequeñas ASIC's configurables por el usuario capaces de realizar una determinada función lógica. La mayoría de los PLD consisten en una matriz de puertas AND seguida de otra matriz de puertas OR. Mediante esta estructura, puede realizarse cualquier función como suma de términos productos.

Aunque las memorias PROM, EPROM y EEPROM son PLD's, muchas veces se las excluye de esta denominación debido a que su contenido se define utilizando elementos de desarrollo propios de microprocesadores, tales como; ensambladores, emuladores y lenguajes de programación de alto nivel. Otras veces, cuando estas memorias se usan para realizar una función lógica y no para guardar un programa de un microprocesador, se las incluye dentro del término PLD.

ASPLD's.

Los ASPLD's (Application Specific Programmable Logic Devices) son PLD's diseñados para realizar funciones específicas como, decodificadores de alta velocidad, secuenciadores, interfaces para buses particulares, periféricos programables para microprocesadores, etc.

Partes del ASPLD son programables permitiendo la adaptación del circuito a una aplicación determinada, pero manteniendo su función básica; así, por ejemplo, un decodificador lo personaliza el usuario, pero sigue siendo un decodificador. Estos circuitos están muy optimizados para la función para la que han sido diseñados. Los decodificadores sólo tienen un término producto, carecen de puertas OR y resultan por consiguiente muy rápidos; por otro lado, los circuitos de interface para buses normalmente tienen un Fan-Out elevado.

FPGA's.

Las FPGA's (Field Programmable Gate Arrays) contienen bloques lógicos relativamente independientes entre sí, con una complejidad similar a un PLD de tamaño medio. Estos bloques lógicos pueden interconectarse, mediante conexiones programables, para formar circuitos mayores. Existen FPGA's que utilizan pocos bloques grandes (Pluslogic, Altera y AMD) y otras que utilizan muchos bloques pequeños (Xilinx, AT&T, Plessey, Actel).

A diferencia de los PLD's, no utilizan arquitectura de matriz de puertas AND seguida de la matriz de puertas OR y necesitan un proceso adicional de ruteado del que se encarga un software especializado.

La primera FPGA la introdujo Xilinx en el año 1985. La programación de las FPGA's de Xilinx basadas en RAM estática es diferente a la programación de los PLD's. Cada vez que se aplica la tensión de alimentación, se reprograma con la información que lee desde una PROM de configuración externa a la FPGA. Una FPGA basada en SRAM (RAM estática) admite un número ilimitado de reprogramaciones sin necesidad de borrados previos.

En general la complejidad de una FPGA es muy superior a la de un PLD. Los PLD tienen entre 100 y 2000 puertas, las FPGA's tienen desde 1200 a 20.000 puertas y la tendencia es hacia un rápido incremento en la densidad de puertas. El número de flip-flops de las FPGA generalmente supera al de los PLD. Sin embargo, la capacidad de la FPGA para realizar lógica con las entradas suele ser inferior a la de los PLD. Por ello: *"los diseños que precisan lógica realizada con muchas patillas de entrada y con pocos flip-flops, pueden realizarse fácilmente en unos pocos PLD's, mientras que en los diseños en los que intervienen muchos registros y no se necesita generar combinaciones con un elevado número de entradas, las FPGA's pueden ser la solución óptima".*

Características de diseño con plus

Los PLD's están situados en una zona intermedia entre los dispositivos a medida y la lógica de catálogo formada por los CI de función fija. Tienen casi todas las ventajas de los ASIC's sin estar penalizados por un costo elevado para pequeñas series. Además el ciclo de diseño con PLD's es mucho más rápido que los de las matrices de puertas o las células normalizadas. En determinadas aplicaciones, un PLD puede sustituir desde unos pocos hasta unas decenas de CI de función fija, mientras que los grandes ASIC's pueden sustituir a cientos e incluso miles de CI. En ocasiones, los PLD se utilizan para realizar prototipos que posteriormente se llevarán a un ASIC más complejo.

El trabajo con PLD's proporciona: facilidad de diseño, prestaciones, fiabilidad, economía y seguridad.

Facilidad de diseño

Las herramientas de soporte al diseño con PLD's facilitan enormemente este proceso. Las hojas de codificación que se utilizaban en 1975 han dejado paso a los ensambladores y compiladores de lógica programable (PALASM, AMAZE, ABEL, CUPL, OrCAD/PLD VHDL, etc.). Estas nuevas herramientas permiten expresar la lógica de los circuitos utilizando formas variadas de entrada tales como; ecuaciones, tablas de verdad, procedimientos para máquinas de estados, esquemas, etc. La simulación digital posibilita la depuración de los diseños antes de la programación de los dispositivos. Todo el equipo de diseño se reduce a un software de bajo coste que corre en un PC, y a un programador.

Prestaciones.

Los PLD's TTL que hay en el mercado tienen tiempos de conmutación tan rápidos como los circuitos integrados de función fija más veloces. Los PLD's ECL son todavía más rápidos. Sin embargo, el incremento de velocidad obtenido con los dispositivos CMOS, que ya han igualado o superado en prestaciones a los dispositivos TTL, está provocando el abandono de la tecnología bipolar por parte de los fabricantes. En cuanto al consumo de potencia, los PLD's generalmente consumen menos que el conjunto de chips a los que reemplazan.

Fiabilidad.

Cuanto más complejo es un circuito, más probabilidades hay de que alguna de sus partes falle. Puesto que los PLD's reducen el número de chips en los sistemas, la probabilidad de un fallo disminuye. Los circuitos impresos con menor densidad de CI son más fáciles de construir y más fiables. Las fuentes de ruido también se reducen.

Economía.

En este apartado, hay aspectos que resultan difíciles de cuantificar. Por ejemplo, los costes de pérdida de mercado por una introducción tardía de un producto. Otros son más claros, por ejemplo, la reducción del área de las placas de circuito impreso obtenida gracias a que cada PLD sustituye a varios circuitos integrados de función fija. Muchas veces se consigue reducir el número de placas de circuito impreso economizándose en conectores. La reducción de artículos en almacén también aporta ventajas económicas.

De la misma manera que para altos volúmenes de producción las memorias ROM resultan de menor coste que las EPROM, las HAL (Hard Array Logic) o PLD's programados por el fabricante proporcionan ahorros adicionales en grandes cantidades.

Seguridad.

Los PLD's tienen fusibles de seguridad que impiden la lectura de los dispositivos programados, protegiendo los diseños frente a copias.

Además de los puntos mencionados, podemos añadir que los PLD's facilitan el ruteado de las placas de circuito impreso debido a la libertad de asignación de patillas que proporcionan. Permiten realizar modificaciones posteriores del diseño y en ocasiones hacen posible la reutilización de circuitos impresos con algunos fallos, mediante una reasignación de los PLD's.

Arquitectura de los dispositivos lógicos programables (PLD's).

Existen en la actualidad infinidad de arquitecturas diferentes de PLD's y su número se incrementa día a día. Aunque resulta casi imposible hacer una referencia completa de todos los tipos de PLD's en el mercado, en este trabajo sólo se presentarán algunas de las más comunes y una amplia lista de las distintas PLD's que podemos encontrar en el mercado.

Clases de PLD's.

Ya que generalmente los PLD's disponen de muchas entradas y resultaría muy complicado mostrarlas en un dibujo, se utiliza una representación simplificada, según la cual, para las puertas AND sólo se dibuja una línea de entrada llamada línea producto. Esta línea se cruza con dos líneas por cada entrada (entrada directa y entrada invertida), pudiendo existir un fusible en cada intersección. Aunque sólo se dibuja una línea de entrada por cada puerta AND, en realidad esta puerta tiene tantas entradas como intersecciones de la línea producto. Si en una intersección hay una X, significa que el fusible está intacto; sí no hay una X, el fusible está fundido y no existe la conexión. En ocasiones, las puertas OR también se dibujan con una sola entrada.

En el diagrama simplificado de la figura 2.33 aparece una matriz de puertas AND de seis entradas, cuyas salidas están conectadas a una puerta OR. La intersección de las líneas producto con las líneas de entrada forman una matriz de puertas AND programable de 6x3 fusibles. El circuito está programado para realizar la función OR – exclusiva entre las entradas A y B-. La puerta AND inferior está marcada con una X. Significa que todos sus fusibles están intactos y que su salida es 0. Cuando se funden todos los fusibles de una línea producto, la salida de la puerta AND asociada es 1.

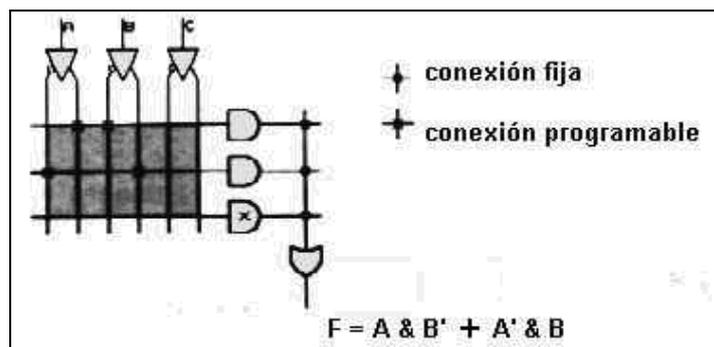


Fig 2.33 Matriz AND

PAL (Programmable Array Logic). También llamados PLA's, son un tipo de PLD's en las que se pueden programar las uniones en la matriz de puertas AND, siendo fijas las uniones en la matriz de puertas OR (Figura 2.34). Los dispositivos con arquitectura PAL son los más populares y los más utilizados, razón ésta por la que dedicamos el siguiente capítulo, para analizarlos más a fondo.

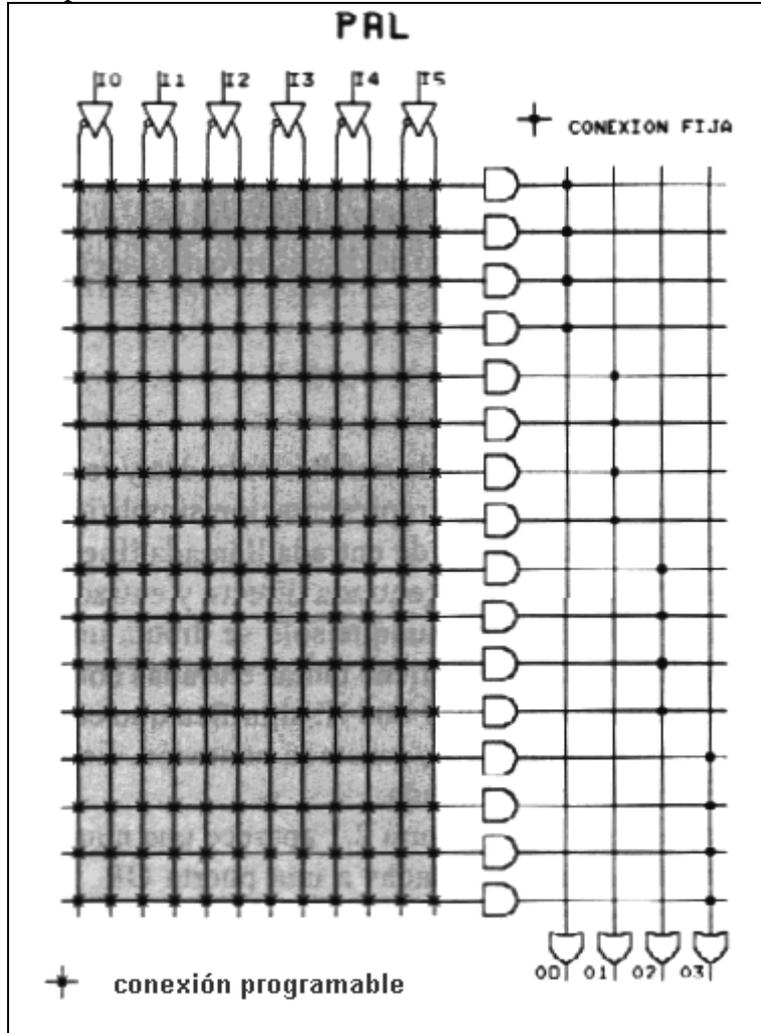


Fig. 2.34 Estructura de una PAL

FPLA (Field Programmable Logic Array). Es un PLD en el que se pueden programar las uniones en ambas matrices (Figura 2.35). Son los dispositivos más flexibles, pero resultan penalizados en tamaño y en velocidad debido a los transistores adicionales en la matriz de puertas OR. Se utilizan fundamentalmente para construir máquinas de estados. Para otras aplicaciones, las PAL resultan más efectivas. Las PAL y las FPLA son sistemas combinatoriales incompletos porque teniendo n entradas, disponen de menos de 2^n términos producto.

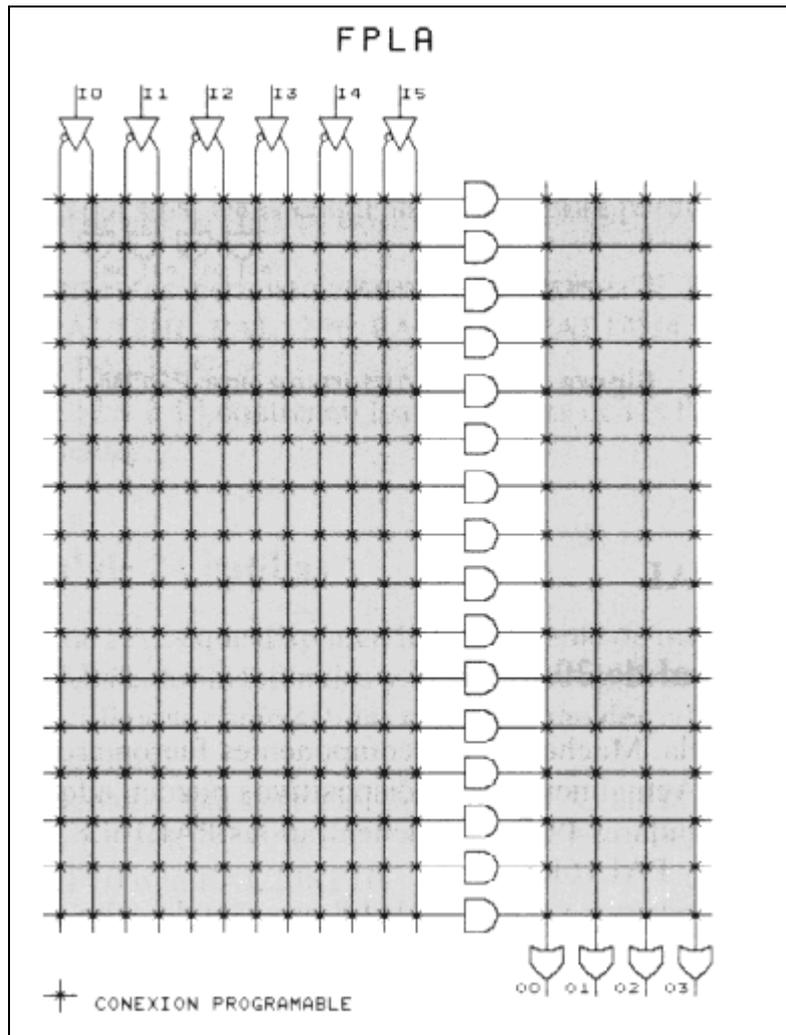


Fig. 2.35. Estructura de un FPLA

PROM (Programmable Read Only Memory). Es un PLD en el que las uniones en la matriz de puertas AND es fija, siendo programables las uniones en la matriz de puertas OR (véase Figura 2.36). Una PROM es un sistema combinatorial completo que permite realizar cualquier función lógica con las n variables de entrada, ya que dispone de 2^n términos productos. Están muy bien adaptadas para aplicaciones tales como: tablas, generadores de caracteres, convertidores de códigos, etc. Generalmente las PROM tienen menos entradas que las PAL y FPLA. Se pueden encontrar PROM con capacidades potencia de 2, que van desde las 32 hasta las 8192 palabras de 4, 8 o 16 bit de ancho.

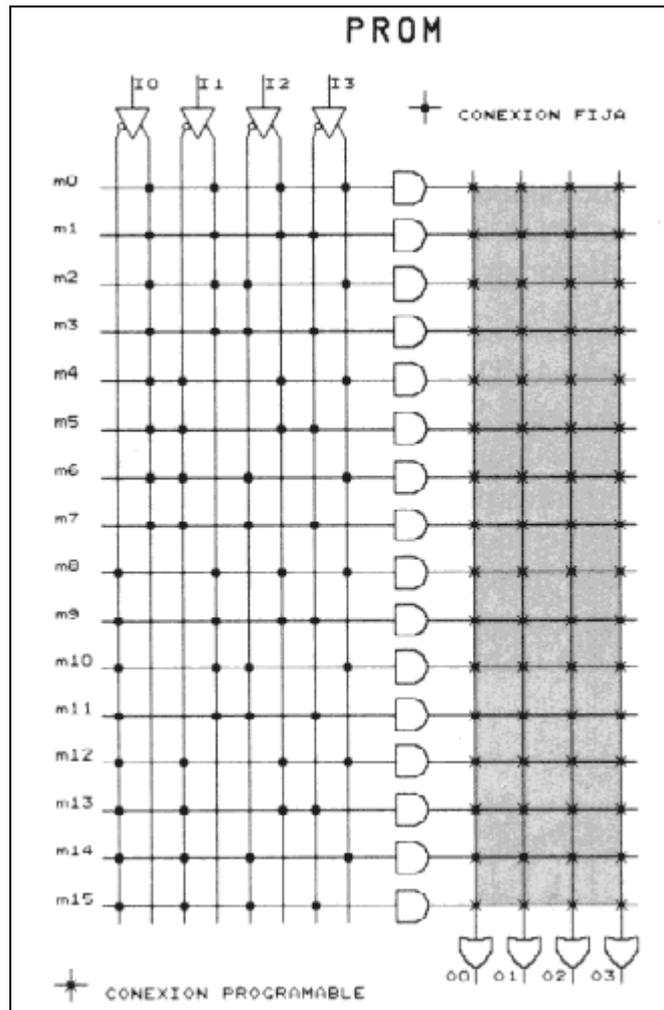


Fig. 3.36 Estructura de una PROM

Consumo de corriente en los PLD's.

En la fabricación de PLD's se utiliza tecnología bipolar TTL o ECL y tecnología CMOS. Los dispositivos bipolares son más rápidos y consumen más que los dispositivos CMOS. Actualmente los PLD's bipolares presentan retardos de propagación inferiores a 7 nsg y los consumos típicos rondan los 100-200 mA para un chip con 20-24 patillas.

Mientras los PLD's bipolares sólo pueden programarse una vez, la mayoría de los PLD's CMOS son reprogramables y permiten una fácil verificación por parte del usuario. A los PLD's CMOS borrables por radiación ultravioleta se les denomina EPLD y a los borrables eléctricamente se les conoce por EEPLD. Los EEPLD con encapsulados de plástico son más baratos que los EPLD provistos de ventanas de cuarzo que obligan a utilizar encapsulados cerámicos.

También existen las PALCE16V8Q (Quarter Power $I_{cc} = 55 \text{ mA}$) y las PALCE16V8Z (Zero Power) con un bajísimo consumo estático de potencia.

Acostumbrados a trabajar con dispositivos CMOS con un consumo prácticamente nulo a frecuencia cero, resulta sorprendente una PAL CMOS con un consumo de 90 mA a la máxima frecuencia de operación (15 Mhz), pero que todavía tendrá un consumo

apreciable a frecuencia cero. En la actualidad, solamente una pequeña fracción de los PLD's del mercado se anuncian como Zero Power.

La razón de estos consumos reside en que no existe una célula de memoria EPROM o EEPROM que sea verdaderamente CMOS. La mayoría de los PLD's CMOS se construyen con un núcleo programable de transistores N-MOS, y solamente las entradas y las salidas del PLD utilizan drivers CMOS. La matriz de transistores NMOS precisa de una alimentación continua (Figura 2.37), para poder responder con rapidez.

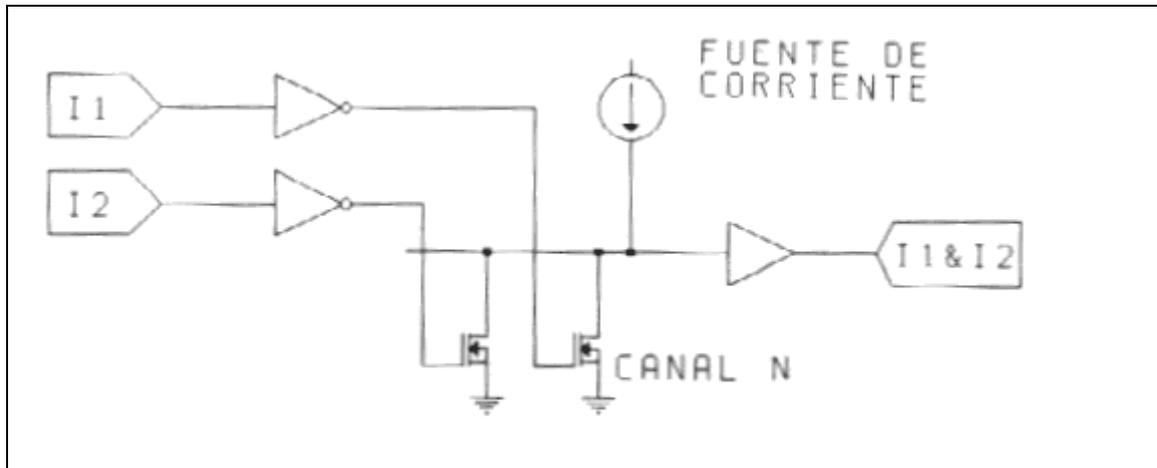


Fig. 2.37 Termino producto en un PLD

Para rebajar los consumos de la matriz de transistores NMOS se utilizan dos técnicas. La primera de ellas consiste en dotar al PLD de una patilla o fusible de control de consumo de potencia (patilla o fusible Power Down), que quita la alimentación a la matriz de transistores cuando el PLD se encuentra fuera de servicio, proporcionando un menor consumo de potencia. Tiene los inconvenientes de que la puesta en funcionamiento del PLD es más lenta.

La segunda técnica (Figura 2.38) coloca en las entradas de los PLD's unos detectores de transición de estado, que conectan la alimentación a la matriz de transistores durante un breve instante de tiempo después de que una entrada haya cambiado. Este tiempo deberá permitir el cambio de las salidas y su almacenamiento en latches, tras lo cual se puede quitar de nuevo la alimentación a la matriz de transistores.

El detector de transición de estado de las entradas se obtiene metiendo a las dos entradas de una puerta OR-exclusiva el estado de una patilla de entrada y el estado de esa misma patilla demorada un tiempo. El tiempo de demora de las patillas de entrada será igual al tiempo durante el cual se mantendrá la alimentación a la matriz de transistores. Los detectores de transición de las entradas y los latches de las salidas se mantienen constantemente alimentados. El consumo de corriente de los PLD's que utilizan esta segunda técnica aumenta lógicamente si se incrementa la frecuencia de cambio de las entradas.

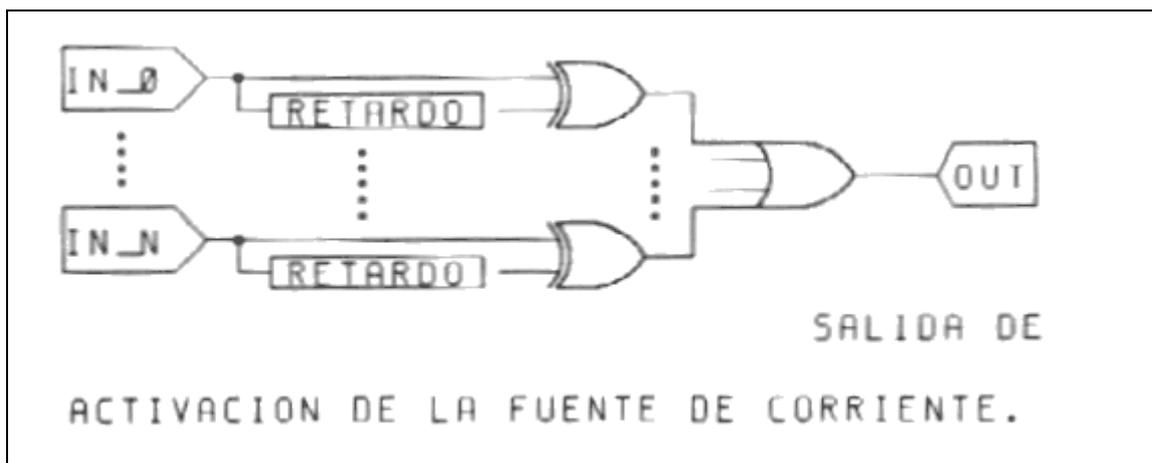


Fig. 2.38 Circuito detector de transiciones

Cómo se catalogan los PLD's.

Si consultamos las hojas de datos de una PALCE16V8H-20 (tabla 2.16), encontramos claves que permiten extraer valiosa información del nombre del dispositivo. La información incluida en el nombre nos indica:

PAL	Programmable Array Logic.
CE	C-MOS Electrically Erasable.
16V8	16 Entradas a la matriz de puertas AND y ocho salidas.
H	Half Power (I _{cc} = 90 mA).
20	Tiempo de propagación = 20 nsg.

Tabla 2.16

PROGRAMABLE LOGIC ARRAYS (PLA's).

Estructura básica de un PLA.

Un PLA es un bloque funcional que se utiliza para implementar multifunciones booleanas. Existe una gran relación entre su estructura interna y el conjunto de funciones que realiza...

Descripción de su estructura.

Un PLA está constituido básicamente por dos submatrices o planos denominados plano AND y OR, respectivamente. Ambos planos están separados entre sí por una pequeña zona divisoria denominada zona de conexión. Tanto el plano AND como el plano OR disponen, a su vez, de dos zonas externas denominadas buffers o separadores de entrada y de salida. Las señales de entrada del PLA (x_1, \dots, x_m) llegan a los buffers de entrada del plano AND y producen las señales invertidas ($\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_m$). Ambos tipos de señales (x_i y \bar{x}_i) penetran verticalmente en el plano AND y generan los términos producto p_i . Estos últimos discurren horizontalmente por ambos planos, atravesando previamente la zona de conexión, y producen finalmente las salidas del PLA mediante la realización de sumas lógicas entre los términos producto anteriores.

Además de las zonas mencionadas, existen otras dos regiones especiales. Una de ellas está situada a la izquierda del plano AND y la otra en la parte superior del plano OR.

Estas regiones están constituidas por transistores del "pull-up", que actúan como resistencia de carga, a través de los cuales se alimentan las líneas de los términos producto y las líneas de salida del PLA respectivamente. En la figura 2.39 se muestra un esquema global de su estructura:

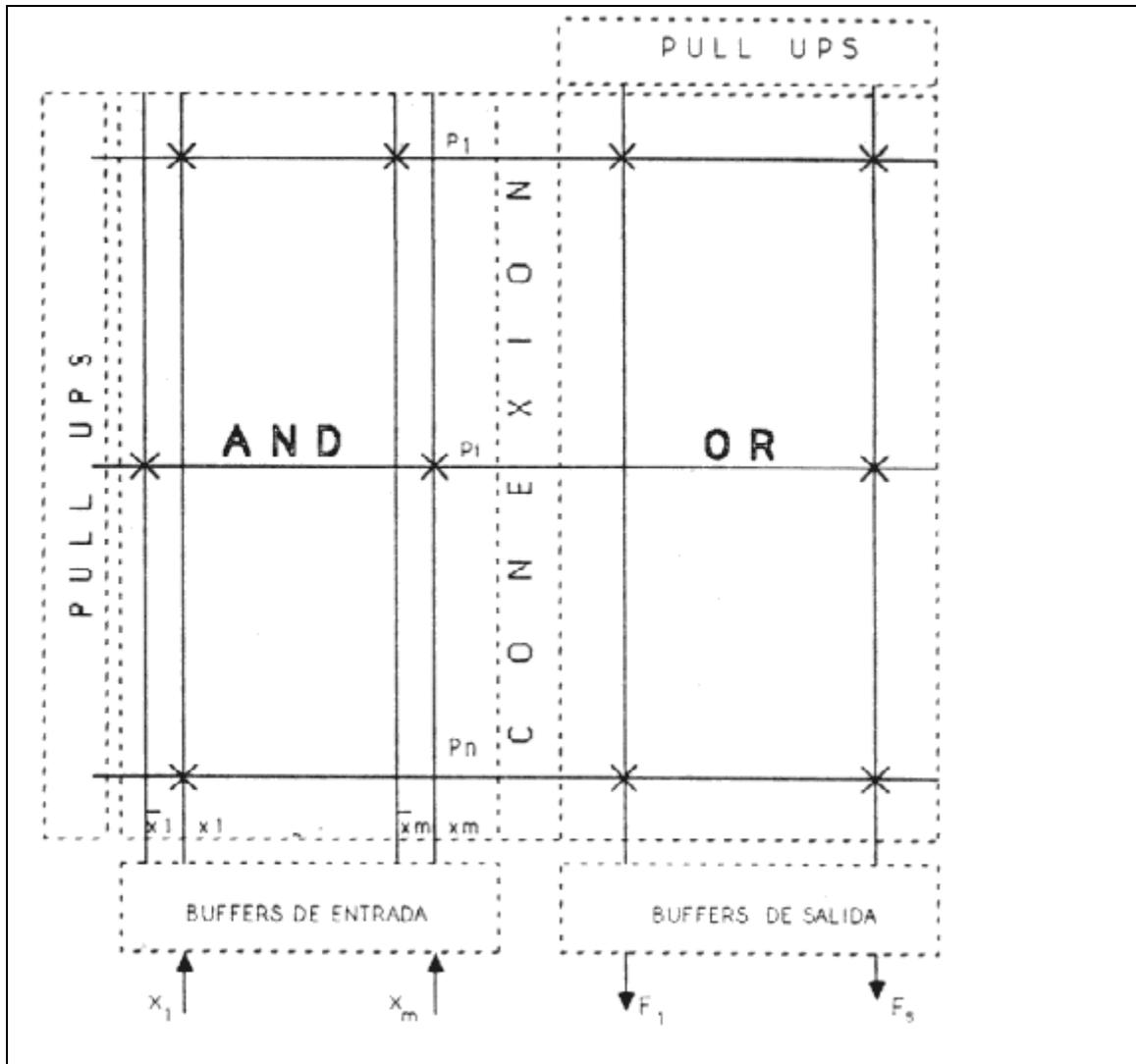


Fig. 2.39 Estructura básica de un PLA

La realización física de un PLA se lleva a cabo mediante la conexión de cada una de las celdas que pertenecen a las regiones anteriores (buffers de entrada, plano AND, transistores de pull-up del plano AND, conexión AND-OR, plano OR, transistores de pull-up del plano OR y buffers de salida). De todas estas celdas, sólo las de los planos AND y OR están relacionadas con las funciones lógicas que definen el circuito. El resto hace referencia a otros factores externos ajenos a la lógica propiamente dicha. En algunos casos, estos factores han de ser tenidos en cuenta si se quiere hacer una estimación realista del área final ocupada por el PLA. Esto ocurre, por ejemplo, cuando se aplican técnicas de optimización en las que se modifica el número de entradas y/o salidas (técnicas de partición).

Representación matricial.

Los PLA's sirven para representar multifunciones booleanas expresadas mediante dos niveles de puertas. Sea, pues, una multifunción F formada por s funciones simples f_i

cada una de ellas dependiente de m variables distintas $(F = Y, f_i(x_1, K, x_m))$. Supongamos también que es necesario desarrollar n productos lógicos distintos con las variables dependientes x_i para expresar todas y cada una de las funciones f_i mediante sumas de productos. Entonces, el PLA asociado a la multifunción F , puede representarse por una matriz, C , formada por n filas y $m+s$ columnas. Cada una de estas filas C_i se define del modo siguiente:

"j : 1..m (plano AND).

$C_{ij} = 0$ si x_j está complementada en el término producto C_i .

$C_{ij} = 1$ si x_j no está complementada en el término producto C_i .

$C_{ij} = 2$ si x_j no aparece en el término producto C_i .

"j : m + 1... m + s (plano OR).

$C_{ij} = 3$ si C_i no forma parte de la función $F_{j..m}$

$C_{ij} = 4$ si C_i forma parte de la función $F_{j..m}$

De la definición anterior se deduce que todos los 2's de la matriz C representan elementos vacíos en las m primeras columnas pertenecientes al plano AND o submatriz de entradas. Igualmente ocurre con los 3's en las columnas restantes del plano OR o submatriz de salidas. Por elemento vacío se entiende aquella posición del PLA en la que no existen conexiones.

Así, por ejemplo la multifunción $f_1 = \bar{x}_3x_6 + x_1\bar{x}_6$, $f_2 = \bar{x}_2x_4 + \bar{x}_1x_5 + x_6$, $f_3 = x_1$ se representa mediante la matriz de cobertura de la tabla 2.17.

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	F ₁	F ₂	F ₃
2	2	0	2	2	1	4	3	3
2	0	2	1	2	2	3	4	3
1	2	2	2	2	0	4	3	3
0	2	2	2	1	2	3	4	3
1	2	2	2	2	2	3	3	4
2	2	2	2	2	1	3	4	3

Tabla 2.17 Matriz de cobertura.

En muchos casos conviene utilizar otra representación matricial más simple del PLA denominada matriz de personalidad. Esta nueva matriz se define a partir de la matriz de cobertura del modo siguiente:

- "j : = 1...m
- Bij = 1 si Cij = 0 ó 1.
- Bij = 0 si Cij = 2.
- "j := m + 1... m + s
- Bij = 1 si Cij = 4.
- Bij = 0 si Cij = 3.

Tabla 2.18

Es decir, un 1 en la j -ésima columna e i -ésima fila del plano AND indica que la columna j es un factor del término producto i , mientras que un 1 en la j -ésima columna e i -ésima fila del plano OR indica que el término producto i es un término de la salida j -m. La tabla 2.19 corresponde a la matriz de personalidad asociada a la matriz de cobertura de la tabla 2.18.

X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	F ₁	F ₂	F ₃
0	0	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	1	0	1	0

Tabla 2.19 Matriz de personalidad.

La representación de un PLA mediante su matriz de personalidad respectiva nos ayudará a resolver los problemas planteados en la optimización lógica y topológica de PLA's.

PLA's.

La estructura de los PLA's se muestra en la figura 2.40, y un ejemplo específico se encuentra en la figura 2.41, encontrándose las arquitecturas PLA listadas en la tabla 2.41. La estructura de los secuenciadores se encuentran en la figura A.1.3, las arquitecturas de los secuenciadores están listadas en la tabla 2.42.

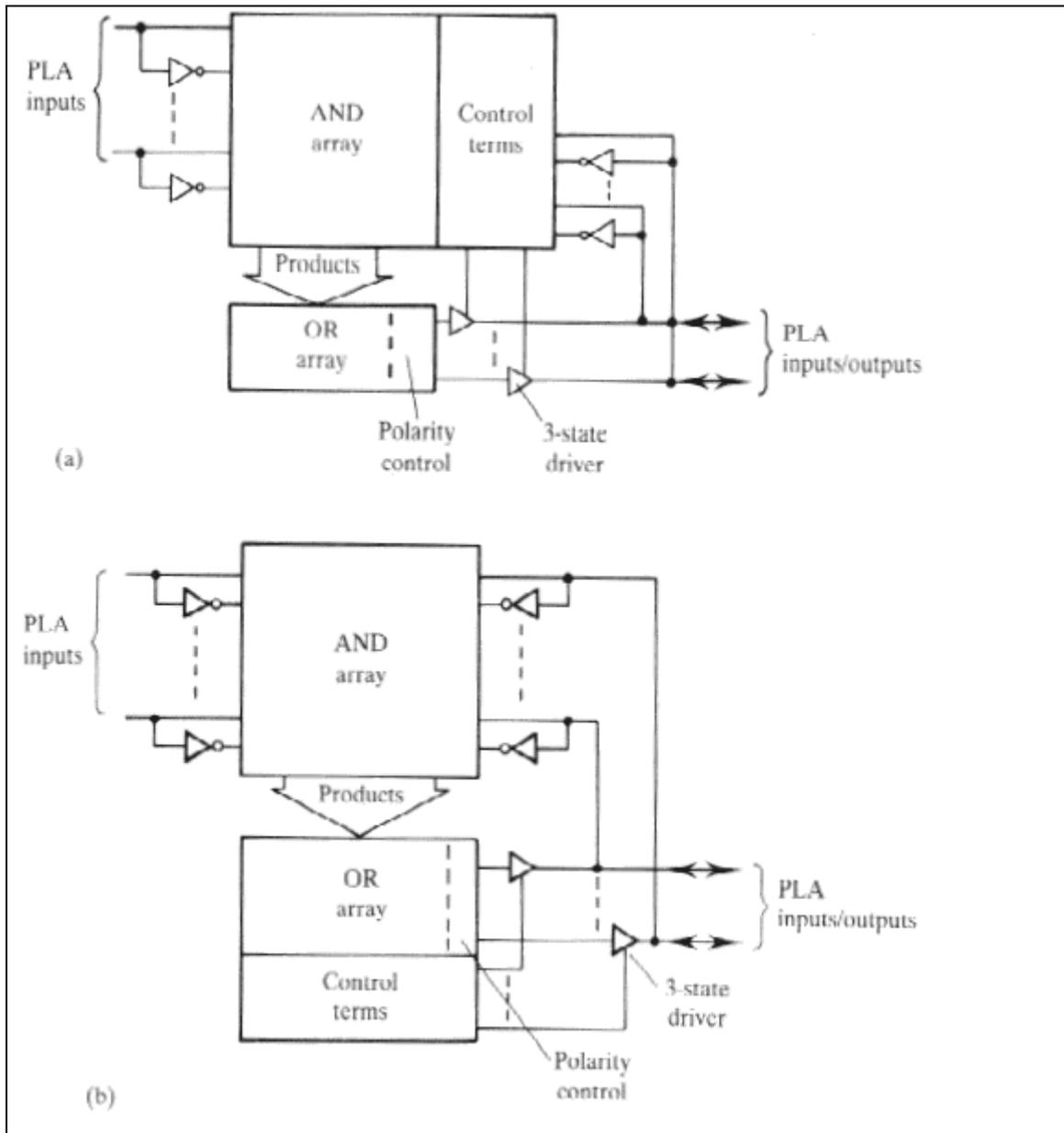


Fig. 2.40 a) PLA con control de salida. b) Segunda forma con los terminos de control en OR

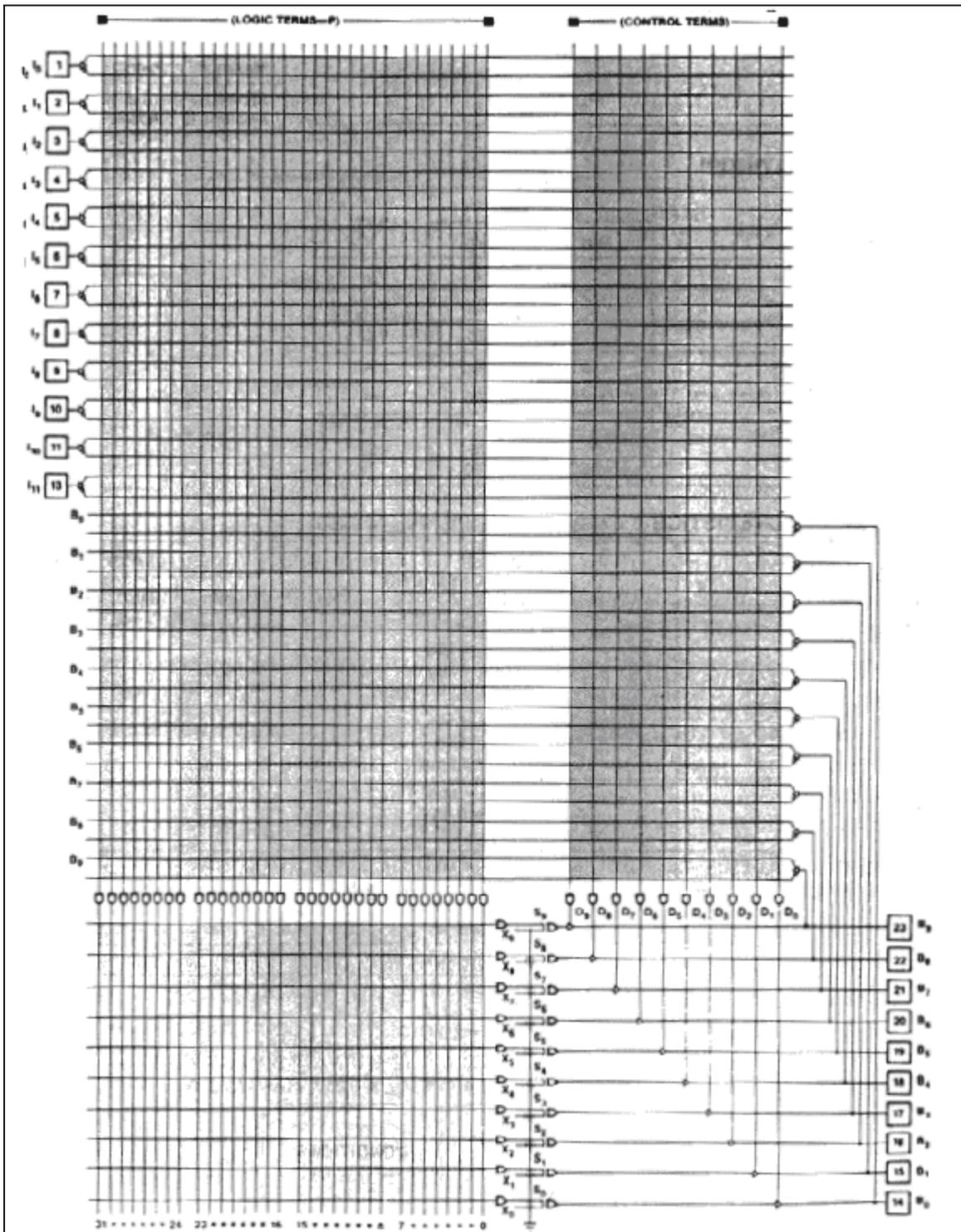


Fig. 2.41 PSL 173

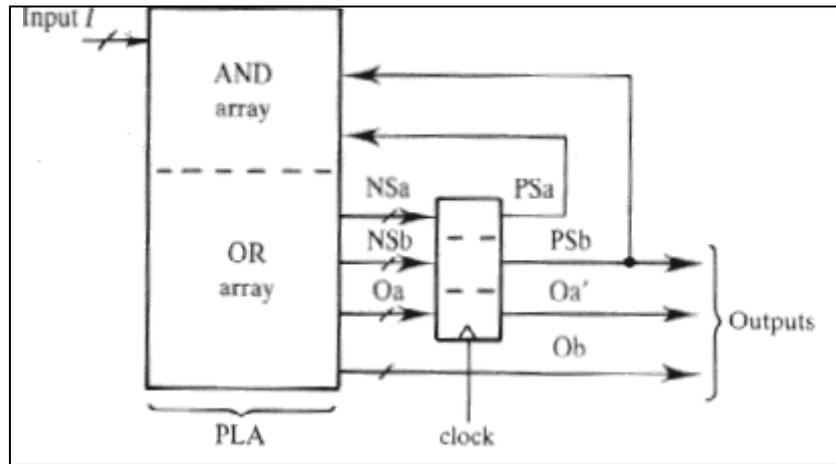


Fig. 2.42 Estructura genérica de un secuenciador

ESTRUCTURA DE LOS DISPOSITIVOS PAL.

General

Los dispositivos PAL son PLA's con o sin array OR, pero un conjunto de puertas OR que suman grupos de productos. La estructura de los dispositivos PAL's combinacionales se muestra en la figura 2.43.

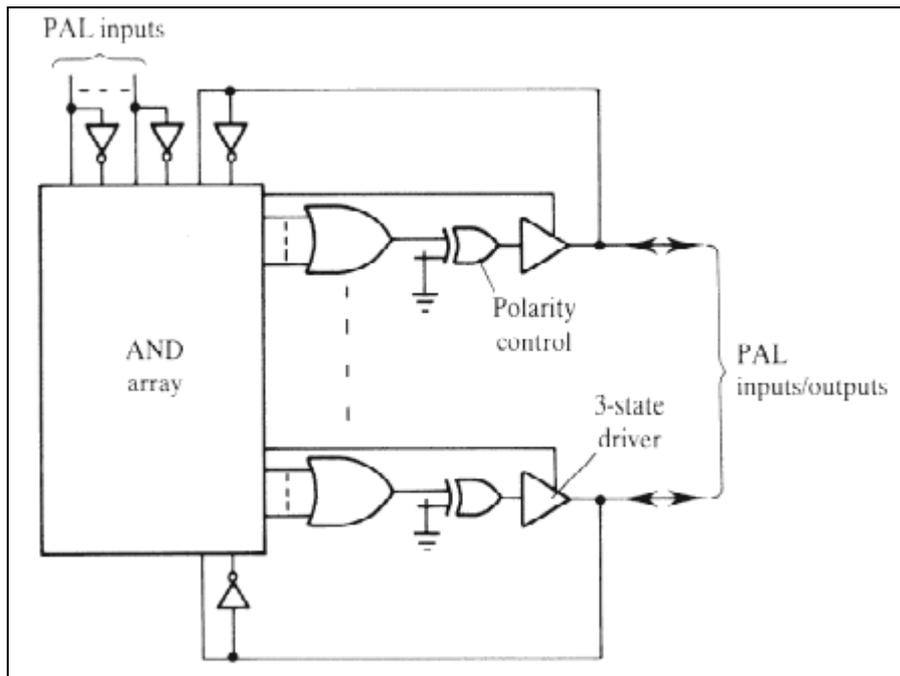


Fig. 2.43 PLA Estructurado con entradas y salidas

Los decodificadores, o los Field Programmable Gate Arrays (FPGAS) son PAL's como los PLD's combinacionales, que generalmente no tienen array OR; por lo que los productos son tomados directamente hacia las salidas. Estos son particularmente útiles para la decodificación de direcciones, cuyas arquitecturas están listadas en la Tabla A.5. Las PAL's registradas tienen registros de salida alimentados desde el array lógico como el dispositivo mostrado en la Figura 2.44

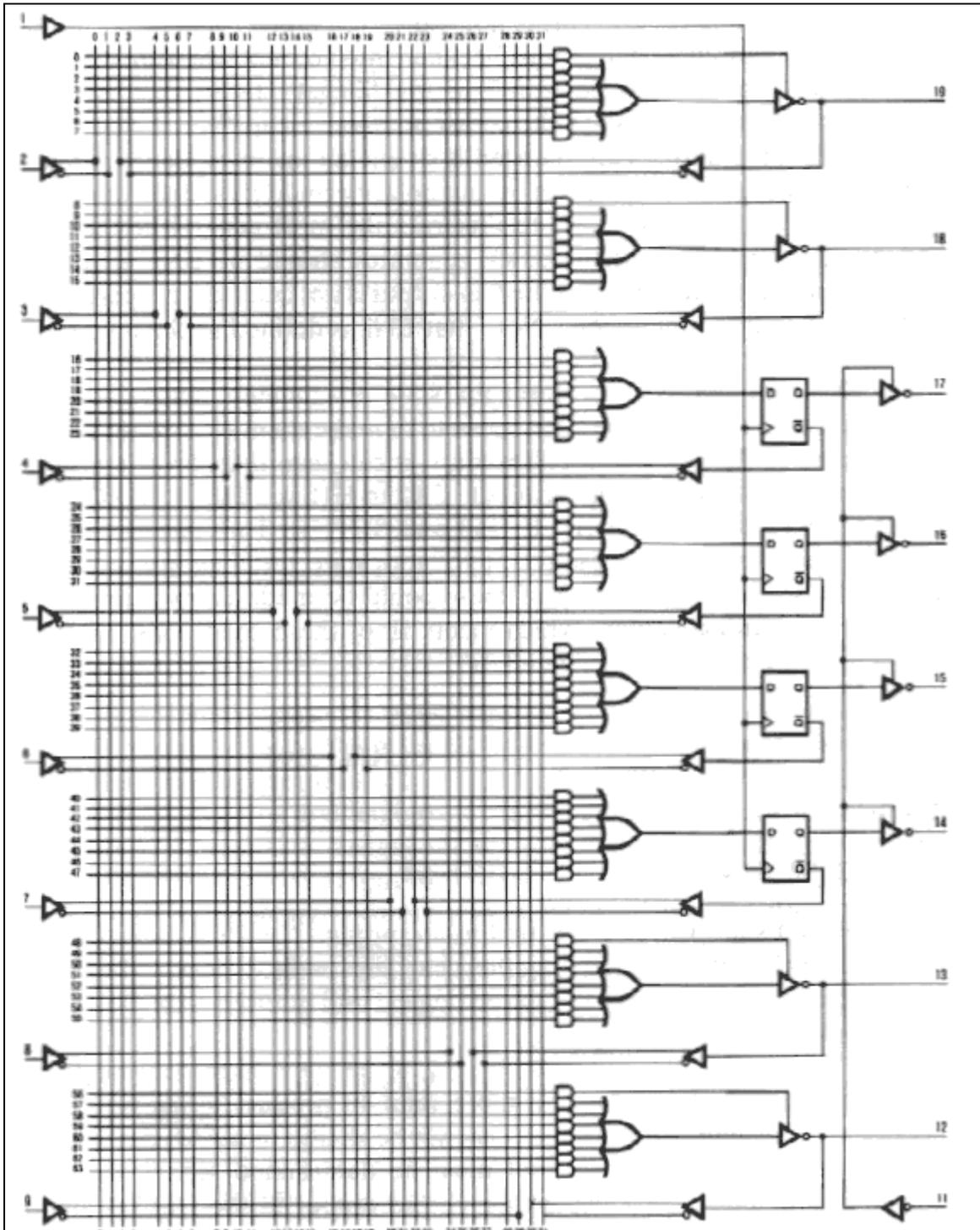


Fig. 2.44 Dispositivo PAL 16R4

Células de salida programables y arquitecturas genéricas.

Para servir al mayor número posible de aplicaciones, se requiere un gran número de arquitecturas PAL. Para acabar con este problema, han sido concebidas las PAL's con arquitectura genérica. Aquí hay dispositivos con células de salida, o macro células, de configuración variable. Cada uno de los dispositivos genéricos es capaz de emular un número de dispositivos de arquitectura fija en suma para ser adaptables en una única arquitectura. El primer PAL genérico fue el 22V10. Siendo capaz de generar señales de reloj registradas que internamente incrementan la flexibilidad de un dispositivo PAL

registrado, permitiendo su uso en sistemas con varios relojes, y para su uso también en circuitos sin reloj. Encontrándose este tipo de PAL's.

CAPÍTULO

III

CARACTERISTICAS

DEL PLC LOGO

Y

SU

PROGRAMACIÓN

CAPÍTULO 3.- CARACTERÍSTICAS DEL PLC LOGO Y SU PROGRAMACIÓN

Introducción

Las empresas de hoy, que piensan en el futuro, se encuentran provistas de modernos dispositivos electrónicos en sus maquinas y procesos de control. Hoy las fábricas automatizadas deben proporcionar en sus sistemas, alta confiabilidad, gran eficiencia y flexibilidad. Una de las bases principales de tales fábricas es un dispositivo electrónico llamado Controlador Lógico Programable. Este dispositivo fue inicialmente introducido en 1970 y se ha refinando con nuevos componentes electrónicos, tales como Microprocesadores de alta velocidad, agregándole funciones especiales para el control de proceso más complejos. Hoy los Controladores Programables son construidos usando lo ultimo en diseño de Microprocesadores y circuiteria electrónica lo cual proporciona una mayor confiabilidad en su operación en aplicaciones industriales donde existen peligro debido al medio ambiente, alta repetibilidad, altas temperaturas, ruido ambiente o eléctrico, suministro de potencia eléctrica no confiable, vibraciones mecánicas etc.

Este medio ambiente es donde el Control Lógico Programable se encuentra en su elemento, ya que fue diseñado y concebido para su uso en el medio ambiente industrial.

Los Controladores Lógicos Programables, PLC como ellos son comúnmente llamados, ofrecen muchas ventajas sobre otros dispositivos de control tales como relevadores, temporizadores electrónicos, contadores y controles mecánicos como del tipo tambor. El objetivo de este capitulo es mostrar el funcionamiento interno y de programación de este tipo de controladores, además de mostrar algunas de sus aplicaciones en la industria en especial el funcionamiento de el LOGO! de Siemens.

3.1 El PLC

El PLC (controlador lógico programable) o API (autómata programable industrial) es un equipo electrónico de control que se basa en un programa interno en el cual un operador definirá la secuencia de acciones que se realizarán según los requerimientos de un proceso específico. Esta secuencia de acciones se ejercerán sobre las salidas del autómata a partir del estado de sus señales de entrada como se muestra en el diagrama a bloques de la figura 3.1. Un autómata programable industrial, representa a la unidad de control dentro de un sistema de control.

3.1.1 Campos de aplicación del PLC

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

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

Sus reducidas dimensiones, las extremas facilidades de montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficiencia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se reduce necesidades tales como: Espacio reducido. Procesos de producción periódicamente cambiantes Maquinaria de procesos variables. Instalación de procesos complejos y amplios. Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Ejemplos de aplicaciones de un PLC

A).-MANIOBRAS DE MAQUINAS.

- Maquinaria industrial del mueble y la madera.
- Maquinaria en proceso de grava, arena y cemento.
- Maquinaria en la industria del plástico.
- Maquinas-herramientas complejas.
- Maquinaria de ensamblaje.
- Maquinas de transferencia.

B).-MANIOBRA DE INSTALACIONES.

- Instalaciones de aire acondicionado y calefacción.
- Instalaciones de seguridad.
- Instalaciones de almacenamiento y transporte.
- Instalaciones de plantas embotelladoras.
- Instalaciones en la industria automotriz
- Instalación de tratamientos térmicos.
- Instalaciones de la industria azucarera.

Es interesante hacer notar que aunque el PLC fue originalmente diseñado como un dispositivo de reemplazo de control industrial para que cubra las necesidades de los usuarios. Las necesidades de la aplicación pueden ser definidas solamente por un análisis detallado del sistema completo. Esto significa que los exámenes detallados deben ser ejecutados en todas las facetas de la maquina u operación del proceso, De nuevo, como toda aplicación es diferente, no hay una rutina clara y concisa que evalúe las necesidades de todas las aplicaciones Una ultima consideración importante en la aplicación de un PLC es el futuro crecimiento del sistema. Los PLC's están diseñados modularmente y por lo tanto tienen posibilidades de poder expandirse para satisfacer las necesidades de la industria. Es importante que a la aplicación de un PLC se pueda considerar los beneficios de las Futuras expansiones.

1. Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:

- No es necesario dibujar el esquema de contactos
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general, la capacidad de almacenamiento del modulo de memoria es lo suficientemente grande

- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contactar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega, etc.
2. Una vez programado el dispositivo y habiendo probado su operación, el esquema puede imprimirse en alguno de los lenguajes en que fue programado, dependiendo del tipo del PLC seleccionado.
 3. Existen módulos de comunicación para el PLC.
 4. En base al PLC puede construirse esquemas de control tanto centralizado como distribuido.

3.1.2 Como aplicar un PLC

Antes de seleccionar el controlador es necesario conocer cuales son los requisitos de aplicación.

Requisitos de una aplicación.

Sin importar el tipo de control que se seleccione, lo primero que hay que hacer es especificar los requisitos de aplicación y esto incluye lo siguiente:

- Requisitos de dispositivos de entrada y salida
- Necesidad de operaciones especiales además de lógica discreta incluyendo:
 - Temporización.
 - Conteo
 - Secuenciales
 - Adquisición de datos etc.
- Requisitos eléctricos (entradas, salidas y alimentación del sistema).
- Velocidad de operación del sistema de control.
- Si se requiere compartir datos fuera del proceso (es decir comunicación)
- Si el sistema necesita control o iteración con el operador.
- Entorno físico o ubicación del controlador.

Selección del método de control.

Para este punto se hace una tabla comparativa de los requisitos de aplicación y de las opciones de control como se muestra en la tabla 3.1.

CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN	¿REQUERIDO?	CANTIDAD	¿PUEDE EL MÉTODO DE CONTROL RELIZAR LA TAREA		
			RELÉ	PLC	TARJETA
ENTRADAS	SI/NO	¿?	SI	SI	SI
SALIDAS	SI/NO	¿?	SI	SI	SI
TEMPORIZADORES	SI/NO	¿?	SI	SI	SI
CONTADORES	SI/NO	¿?	SI	SI	SI
ALTA VELOCIDAD	SI/NO	¿?	NO	SI	SI
CÁLCULO DE DATOS	SI/NO	¿?	NO	SI	SI
ADQUISICIÓN DE DATOS	SI/NO	¿?	NO	SI	SI
COMUNICACIONES	SI/NO	¿?	NO	SI	SI
INTERFACES DE OPERADOR	SI/NO	¿?	NO	SI	NO
OTRAS	SI/NO	¿?			

Tabla 3.1 Comparativa de requisitos de aplicación y opciones de control.

También para diferenciar los métodos de control hay que evaluar el impacto de costo relativo de cada método usando un criterio como el que se ve en la tabla 3.2

CRITERIO	RELÉS	PLC	TARJETA
DISEÑO Y DESARROLLO DEL SISTEMA	NO APLICA	NO APLICA	MA
HARDWARE DEL SISTEMA DE CONTROL	M-A	B-M	B
ENSAMBLE DE PANEL	A	B-M	B
ESPACIO DE PANEL	A	B	B
IMPLEMENTACIÓN DE LÓGICA	A	M	A
DUPLICACIÓN DE LA APLICACIÓN	MA	B	B
DUPLICACIÓN DE LÓGICA	MA	M	M
DOCUMENTACIÓN DE LA LÓGICA	MA	B	M
MODIFICACIÓN DE LA LÓGICA	MA	B	M
MANTENIMIENTO	M	B	M

Tabla 3.2 Comparación del costo relativo de los métodos de control (B-bajo, A-alto, M-moderado y MA muy alto)

Especificaciones del PLC

Una vez seleccionados los requisitos de control de la aplicación y de seleccionar un método para controlar el sistema, hay que determinar las especificaciones del sistema de control, para el caso del PLC las más comunes son:

- Número total de E/S
- Requisitos Eléctricos
- Circuitos de salida (réles, dispositivos de estado sólido)
- Requisitos de memoria (una forma de estimarla es multiplicar el número de E/S más un 10% por si se requiere expansión por 10 palabras, ejemplo 13 E/S mas una adicional se tiene 14×10 palabras = 140 palabras aproximadas de memoria.

3.2 Descripción y funcionamiento de un PLC

Los Controladores Lógicos Programables, (PLC Programmable Logic Controller), nacieron esencialmente como tales, a finales de la década de los 60's y principios de los 70's. Las industrias que propiciaron este desarrollo fueron las automotrices. Ellas usaban sistemas industriales basadas en relevadores, en sus procesos de manufactura, buscando reducir los costos de los sistemas de control por relevadores, la General Motor preparó en 1968 ciertas especificaciones detallando un "Controlador Lógico Programable", Estas especificaciones definían un sistema de control por relevadores que podía ser asociado no solamente a la industria automotriz, sino prácticamente a cualquier industria de manufactura.

Estas especificaciones interesaron a ciertas compañías tales como GE-Fanuc, Reliance Electric, MODICON, Digital Equipment Co., de tal forma que el resultado de su trabajo se convirtió en lo que hoy se conoce como Controlador Lógico Programable. Los PLC's surgen como equipos electrónicos sustitutos de los sistemas de control basados en relevadores, que se hacían más complejos y esto arrojaba ciertas dificultades en cuanto a la instalación de los mismos, los altos costos de los equipos. Los altos costos de operación y mantenimiento y la poca Flexibilidad y confiabilidad de los equipos.

Los primeros PLC's se usaron solamente como reemplazo de relevadores, es decir, su capacidad se reducía exclusivamente al control On-Off (de dos posiciones) en maquinas y procesos industriales. De hecho todavía se siguen usando en muchos casos como tales. La gran diferencia con los controles por relevador fue su facilidad de instalación, ocupan menor espacio, costo reducido y proporcionan autodiagnósticos sencillos.

En la década de los 70's con el avance de la electrónica, la tecnología de los microprocesadores agregó facilidad e inteligencia adicional a los PLC's generando un gran avance y permitiendo un notorio incremento en la capacidad de interface con el operador, intercambio de datos de, desarrollo de operaciones, programas etc. se fue poco a poco mejorando la idea inicial de los PLC's convirtiéndose en lo que ahora son, Sistemas Electrónicos Versátiles y Flexibles.

En su creación, los requerimientos sobre los cuales se han desarrollado los PLC's, los enumero la General Motors de la manera siguiente

1. El dispositivo de control deberá ser fácil y rápidamente programable por el usuario con un mínimo de interrupción.
2. Todos los componentes del sistema deben ser capaces de operar en plantas industriales sin un especial equipo de soporte, de hardware o de ambiente.
3. El sistema debe ser de fácil mantenimiento y reparación. Deberá diseñarse con indicadores de status y modularidad para facilitar las reparaciones y la búsqueda de errores.
4. El sistema deberá ocupar menor espacio que los sistemas de relevador y deberá consumir menor potencia que los sistemas de control por relevadores.

5. El PLC deberá ser capaz de comunicarse con un sistema central de datos para propósitos de monitoreo.
6. Deberá ser capaz de trabajar con 120 volts de corriente alterna, elementos estándar de control, con interruptores de presión interruptores de límite, etc.
7. Las señales de salida deberán ser capaces de manejar arranques de motores y válvulas solenoides que operan a 120 volts de C.A.
8. Deberá ser expandible desde su mínima configuración hasta su máxima, con una mínima de alteración y de tiempo perdido.
9. Deberá ser competitivo en costos de venta e instalación, respecto de los sistemas en base a relevadores.
10. La estructura de memoria empleada deberá ser expandible a un mínimo de 4000 palabras o elementos de memoria. Los PLC's actuales no solamente cumplen estos requisitos si no que lo superan. El PLC actual es una computadora de propósito específico que proporciona una alternativa más flexible y funcional para los sistemas de control industriales.

Debido a la gran aceptación que ha tenido el PLC, se ha dado una definición formal por la NEMA (Nacional Electrical Manufacturers Association), descrita como sigue:

EL PLC es un aparato electrónico operado digitalmente que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones las cuales implementan funciones específicas tales como lógicas, secuenciales, temporización, conteo y aritméticas, para controlar a través de módulos de entrada /salida digitales y/o analógicas, varios tipos de máquinas o procesos. Una computadora digital que es usada para ejecutar las funciones de un controlador programable, se puede considerar bajo este rubro. Se excluyen los controles secuenciales mecánicos. De una manera general podemos definir al controlador lógico programable como una máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales de control. Su programación y manejo puede ser realizado por personal con conocimientos electrónicos sin previos conocimientos sobre informática.

También se le puede definir como una "caja negra" en la que existen unas terminales de entrada a los que se conectan pulsadores, finales de carrera, foto celdas, detectores, etc..., unas terminales de salida a los que se le conectan bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas etc. De tal forma que la actuación de estos últimos están en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado en la fig. 3.1 se muestra el diagrama a bloques de un PLC.

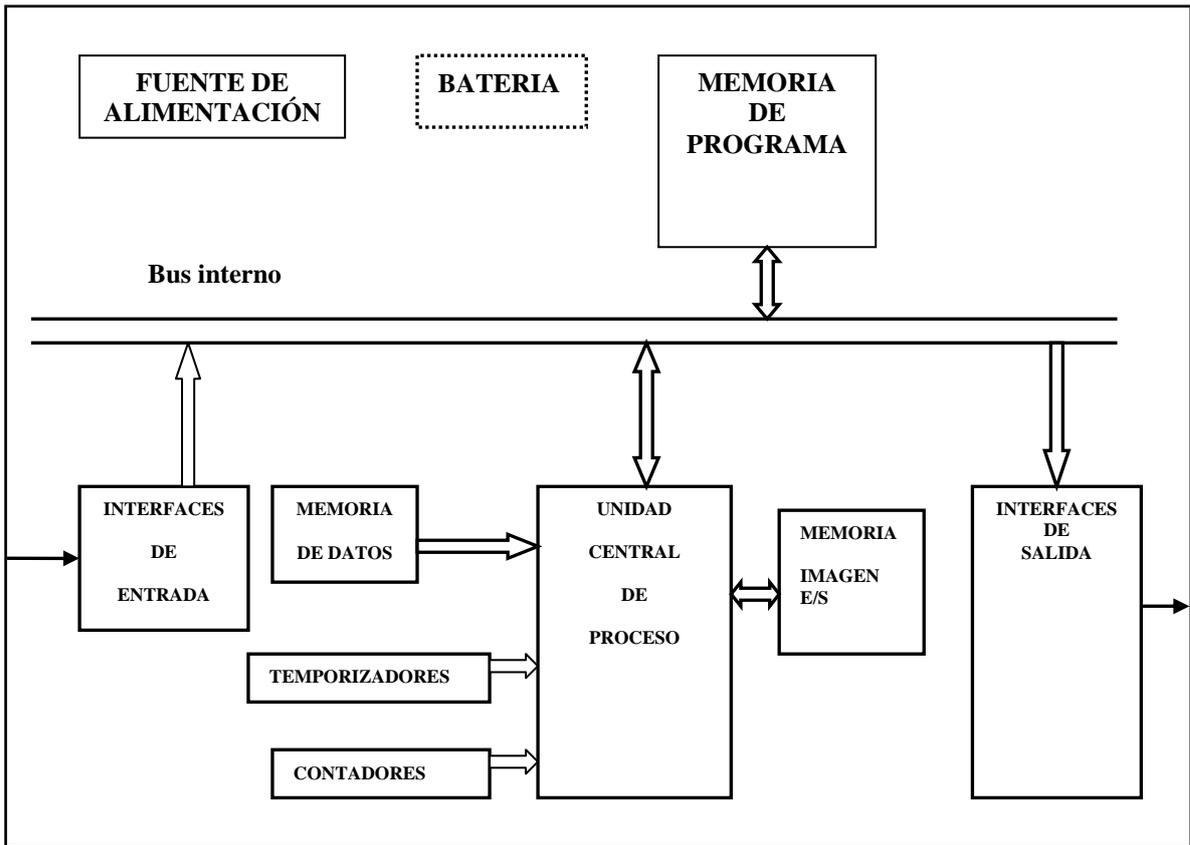


Fig. 3.1 Diagrama de funcionamiento de un PLC

Esto quiere decir auxiliares, relés de encallamiento, temporizadores y contadores, son internos. La tarea del usuario se reduce a realizar el "programa" que no es más que la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida.

Funciones básicas de un PLC

Detección: Lectura de la señal de los sensores.

Mando: Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores

Interface hombre-máquina: Mantener comunicación con los operarios de producción obedeciendo sus consignas e informando el estado del proceso.

Programación: Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El diálogo de programación debe de permitir modificar el programa incluso con el PLC controlando la máquina.

Nuevas Funciones.

Redes de comunicación: Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre PLC's en tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse e-mails e intercambiar tablas de memoria compartida.

Sistemas de supervisión: También los PLC's permiten comunicarse con PC's provistos de programas de supervisión industrial (SCADA). Esta comunicación se realiza por medio de una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie de la PC.

Control de procesos continuos: Además de dedicarse al control de eventos discretos, los PLC's llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el PLC.

Entradas - salidas distribuidas: Los módulos de entrada y salida no tienen porqué estar en el tablero del PLC. Pueden estar distribuidos por la instalación y se comunican con la unidad central del PLC mediante un cable de red.

Buses de campo: Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus sensores y actuadores, reemplazando al cableado tradicional. El PLC consulta cíclicamente el estado de los sensores y actuadores.

3.2.1 Componentes

Entradas y salidas.

Las entradas y salidas (E/S) del PLC pueden ser: $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Analógicas} \\ - \text{Digitales} \end{array} \right.$

Las E/S digitales se basan en el principio de todo o nada (On-Off), es decir, o poseen el máximo nivel de tensión establecido, o no tienen tensión (0 Volt). Las señales de las entradas digitales del PLC pueden provenir de pulsadores, finales de carrera, fotoceldas, detectores de proximidad, interruptores, etc. Las salidas digitales del PLC pueden ser aprovechadas por lámparas, contactores, electroválvulas, etc.

Las E/S analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado especificado por el fabricante. Se basan en conversores A/D y D/A aislados de la CPU. Las señales de las entradas analógicas del PLC pueden provenir de sensores de temperatura, etc.

Por otro lado, con respecto a la memoria del autómatas se puede decir que, en forma general, ésta contiene:

Datos del proceso:

- Señales de planta, entradas y salidas.
- Variables internas.
- Datos alfanuméricos y constantes.

Datos de control:

- Instrucciones de usuario (programa).
- Configuración del autómeta (modo de funcionamiento, número de entradas/salidas conectadas, etc.).

En la memoria del autómeta se almacenan datos binarios (señales de niveles altos y bajos, es decir, "unos" y "ceros") que según sean sus formatos pueden ser leídos bit a bit, en grupos de ocho bits (byte) o dieciséis bits (word), en la figura 3.2 se puede observar la estructura interna típica de la memoria interna de un autómeta.

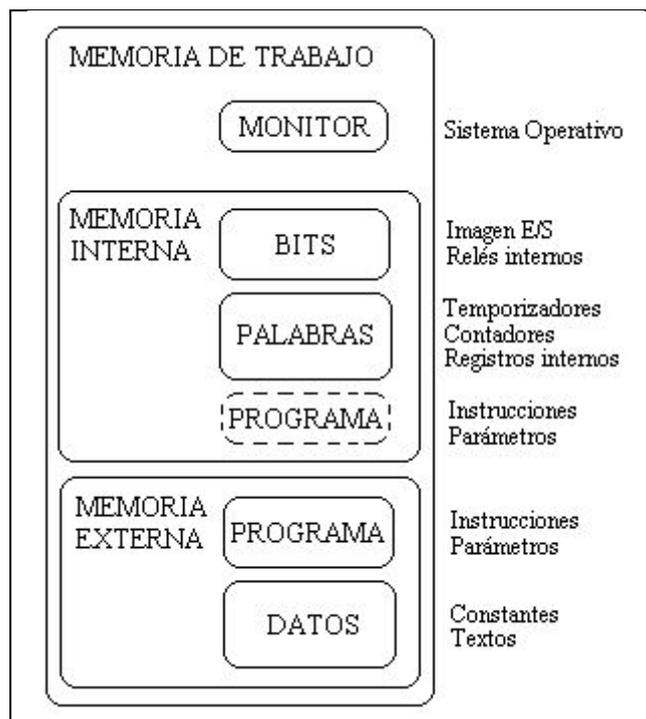


Fig. 3.2 Estructura típica de la memoria del autómeta.

La memoria ideal para el autómeta debería ser simultáneamente rápida, pequeña, barata y de bajo consumo de energía, sin embargo, como ninguna de las memorias del mercado reúne todas estas condiciones, los autómetas combinan distintos tipos de memorias:

- Memorias de lectura / escritura, RAM.
- Memorias de sólo lectura, no reprogramables, ROM.
- Memorias de sólo lectura, reprogramables, con borrado por luz ultravioleta, EPROM.
- Memorias de sólo lectura, alterables por medios eléctricos, EEPROM.

Las memorias de lectura / escritura, RAM, pueden ser leídas y modificadas cuantas veces sea necesario a través de los buses internos, y de forma rápida. Sus inconvenientes son su poca capacidad de almacenamiento y, sobre todo, su carácter volátil, que provoca la pérdida de información cada vez que no exista tensión de alimentación. Las memorias

RAM se utilizan principalmente como memorias de datos internos, y únicamente como memorias de programa en el caso de que pueda asegurarse el mantenimiento de los datos con una batería exterior.

Las memorias de sólo lectura, no reprogramables, ROM, no pueden ser modificadas en ninguna forma (el contenido de esta memoria no es accesible desde el exterior). Dentro del autómata, las memorias ROM se utilizan para almacenar el programa monitor, que contiene las siguientes rutinas, incluidas por el fabricante:

- Inicialización tras puesta en tensión o reset,
- Rutinas de test y de respuesta a error de funcionamiento,
- Intercambio de información con unidades exteriores,
- Lectura y escritura en las interfaces de E/S.

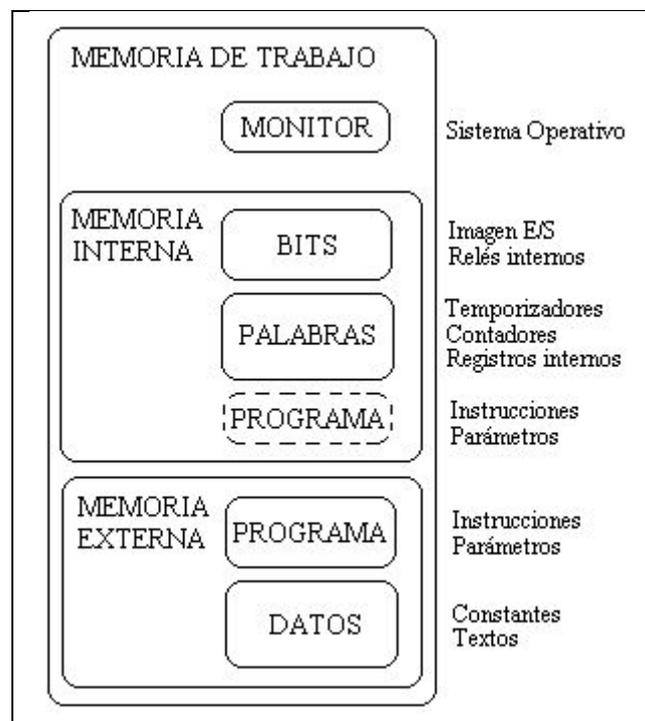


Fig. 3.2 Estructura típica de la memoria del autómata.

Las memorias reprogramables, EPROM, son memorias de sólo lectura que pueden programarse con un circuito especial, después de borrar su contenido. Las células de memoria son borradas con luz ultravioleta que penetra en el chip a través de una ventana de cuarzo en su cara superior. Para borrar este tipo de memoria, ésta debe ser extraída del autómata, por lo que se interrumpe el funcionamiento del mismo. Normalmente, estas memorias se utilizan para almacenar el programa del usuario, una vez que ha sido depurado.

Las memorias EEPROM son memorias de sólo lectura alterables por medios eléctricos, es decir, reprogramables sobre el propio circuito, sin necesidad de ser extraídas del autómata para su borrado. Este tipo de memoria combina la no volatilidad de las memorias ROM y EPROM con la reprogramabilidad de la memoria RAM. Las memorias EEPROM se emplean principalmente para almacenar programas, aunque en la actualidad es cada vez más frecuente el uso de combinaciones RAM+EEPROM,

utilizando estas últimas como memorias de seguridad que salvan el contenido de las RAM en caso de interrupción del suministro eléctrico. Una vez reanudada la alimentación, el contenido de la EEPROM se vuelca de nuevo a la RAM, por lo que el autómatas puede continuar en el mismo punto del programa en el que fue interrumpido por la pérdida de tensión.

Los componentes principales de un PLC son:

- Unidad central de proceso o de control, CPU
- Memoria interna
- Memoria de programa
- Interfaces de entrada y salida
- Fuente de alimentación

La unidad de control se encarga de consultar el estado de las entradas y de adquirir la secuencia de instrucciones (residentes en la memoria de programa) que generarán señales de salida específicas en el PLC (órdenes que se enviarán al proceso). Durante la ejecución del programa, las instrucciones son procesadas en serie, una tras otra. La unidad de control es la responsable de actualizar continuamente los temporizadores y contadores internos que hayan sido programados.

La memoria interna se encarga de almacenar datos intermedios de cálculo y variables internas que no aparecen directamente sobre las salidas, además, hace respaldos (conocidos como reflejos o imágenes) de las señales de entrada y de salida generadas más recientemente. En otras palabras, la memoria interna almacena el estado de las variables que maneja el autómatas: entradas, salidas, contadores, relés internos, etc.

La clasificación de la memoria interna se basa en el tipo de variables o datos binarios que almacena, ya que estos pueden ser leídos de bit a bit, por bloques de ocho bits (byte) o dieciséis bits (word), tal y como se muestra a continuación:

Bits internos (datos binarios de 1 bit):

- Memoria imagen de entradas/salidas.
- Réles internos.
- Réles especiales / auxiliares.

Registros internos (datos binarios de 8 bits (byte), 16 bits (word) o más bits):

- Temporizadores.
- Contadores.
- Otros registros de uso general.

La memoria de programa contiene la secuencia de operaciones (programa escrito por el usuario) que deben realizarse sobre las señales de entrada del autómatas para obtener las señales de salida, así como los parámetros de configuración del autómatas, tales como

el nombre o identificación del programa escrito, indicaciones sobre la configuración de E/S o sobre la red de autómatas, si existe, etc. Adicionalmente puede contener datos alfanuméricos. En caso de que haya que introducir alguna variación sobre el sistema de control basta con modificar el contenido de esta memoria. Este tipo de memoria normalmente es externa a la CPU.

Las interfaces de entrada y salida establecen la comunicación del autómata con la planta. Para ello se conectan, por una parte, con las señales de proceso y, por otra, con el bus interno del autómata. Se conoce como bus interno al conjunto de líneas y conexiones que permiten la unión eléctrica entre la unidad de control, las memorias y las interfaces de E/S. Un bus se compone de un conjunto de hilos o pistas utilizadas para intercambiar datos u órdenes.

- El bus interno del autómata está conformado por:
- El bus de datos, donde tienen lugar las transferencias de datos del sistema.
 - El bus de direcciones, donde se direccionan la memoria y los periféricos.
 - El bus de control, el cual está asociado a la unidad de control y es donde se manejan las órdenes que se emitirán en el proceso.

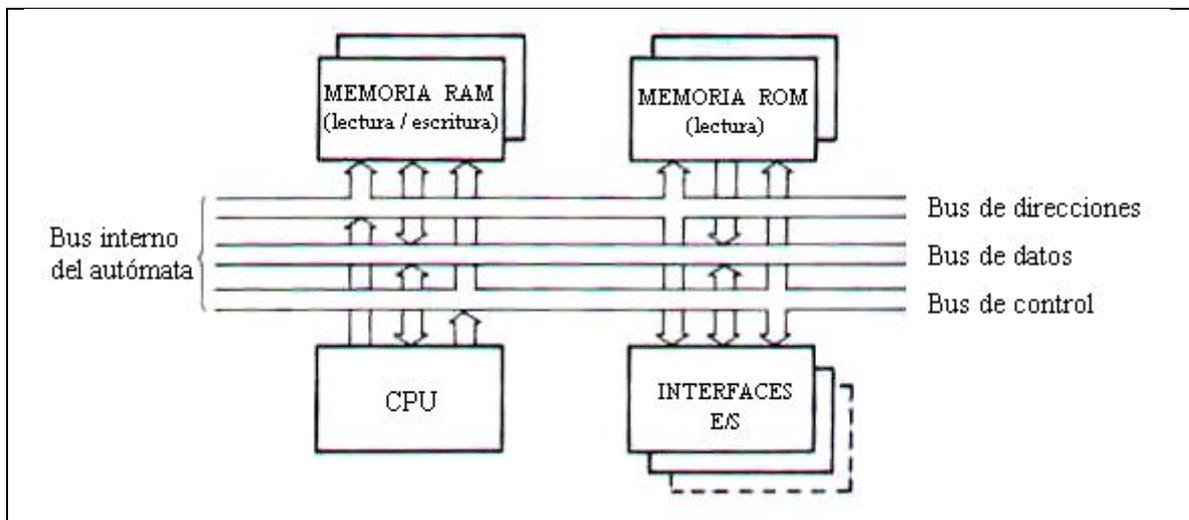


Fig. 3.3 Estructura del bus interno del autómata.

El sistema de E/S de un autómata programable industrial tiene como funciones:

1. Adaptar la tensión de trabajo de los dispositivos de campo a la de los elementos electrónicos del autómata.
2. Proporcionar una adecuada separación eléctrica entre los circuitos lógicos y los circuitos de potencia.

En base al número de puntos de E/S que la CPU puede manejar, se habla de autómatas de gama:

{	-	baja, con E/S < 256,
-	-	mediana, con $256 \leq E/S \leq 1024$, ó
-	-	alta, con E/S > 1024

La fuente de alimentación proporciona, a partir de una tensión exterior, las tensiones necesarias para el buen funcionamiento de los distintos circuitos electrónicos del sistema. En ocasiones, el autómata puede disponer de una batería conectada a esa fuente de alimentación, lo que asegura el mantenimiento del programa y algunos datos en las memorias en caso de interrupción de la tensión exterior.

Los autómatas requieren al menos de dos fuentes de alimentación:

- Alimentación del autómata (CPU, memorias e interfaces).
- Alimentación de los emisores de señal y de los actuadores de salida.

Generalmente, la alimentación de la CPU puede ser continua a $24 V_{cc}$, o en alterna $110 / 220 V_{ca}$. En cualquier caso, la propia CPU alimenta las interfaces conectadas a través del bus interno. La alimentación a los circuitos E/S usualmente puede realizarse, según dos tipos, en alterna a $48 / 110 / 220 V_{CA}$ o en continua a $12 / 24 / 48 V_{CC}$.

Procesador de comunicaciones. Las comunicaciones del CPU son llevadas a cabo por un circuito especializado con protocolos de los tipos RS-232C, RS-422, RS-485, AS, EIB, TTY ó HPIB (IEEE-485) según el fabricante y la sofisticación del PLC.

Tarjetas Modulares Inteligentes. Existen para los PLCs modulares, tarjetas con funciones específicas que relevan al microprocesador de las tareas que requieren de gran velocidad o exactitud.

Estas tarjetas se denominan inteligentes por contener un microprocesador dentro de ellas para su funcionamiento propio. El enlace al PLC se efectúa mediante el cable (bus) o tarjeta de respaldo y a la velocidad del CPU principal.

Las funciones que se encuentran en este tipo de tarjetas son:

- Posicionamiento de servomecanismos.
- Contadores de alta velocidad.
- Transmisores de temperatura.

BUS. Los sistemas modulares requieren una conexión entre los distintos elementos del sistema y esto se logra mediante un bastidor que a la vez es soporte mecánico de los mismos. Este bastidor contiene la conexión a la fuente de voltaje, así como el bus de direcciones y de datos con el que se comunican las tarjetas y el CPU.

En el caso de tener muchas tarjetas de E/S o de requerirse estas en otra parte de la máquina, a cierta distancia del CPU principal, es necesario adaptar un bastidor adicional que sea continuación del original, con una conexión entre bastidores para la comunicación. Esta conexión si es cercana puede lograrse con un simple cable y, en otros casos se requiere de un procesador de comunicaciones para emplear fibra óptica en una red de protocolo establecida.

Equipos o unidades de programación. El PLC debe de disponer de alguna forma de programación, la cual se suele realizar empleando algunos de los elementos siguientes:

- **Unidad de programación.** Suele ser en forma de calculadora. Es la forma más simple de programar al autómatas y se suele reservar para pequeñas modificaciones del programa o la lectura de datos en el lugar de colocación del PLC.

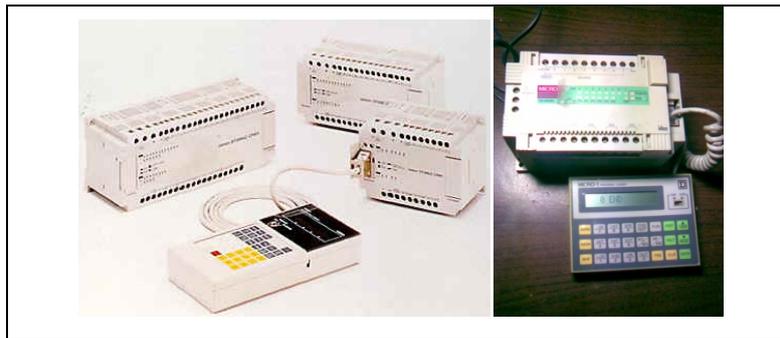


Fig. 3.4 Unidades de Programación

- **Consola de programación.** Es una Terminal como la mostrada en la Fig. 3.4 a modo de un ordenador que proporciona una forma más cómoda de realizar el programa de usuario y observar los parámetros internos del PLC. Desfasado actualmente.
- **PC.** Es el modo más potente y empleado en la actualidad. Permite programar desde un ordenador personal estándar, con todo lo que ello supone: herramientas más potentes, posibilidad de almacenamiento en diferentes medios de soporte (discos magnéticos, memorias USB, CD, DVD etc.), impresión, transferencia de datos, monitorización mediante software SCADA, etc.

Para cada caso el fabricante proporciona lo necesario, bien el equipo o el software/cables adecuados. Cada equipo, dependiendo del modelo y fabricante, puede poseer una conexión a uno o varios elementos anteriores. En el caso del PLC LOGO! de SIEMENS se puede escoger la programación por PC o por la unidad de programación integrada:

3.2.2 Ciclo de funcionamiento

Cuando se pone en marcha el PLC se realizan una serie de comprobaciones:

- Funcionamiento de las memorias.
- Comunicaciones internas y externas.
- Elementos de E/S.
- Tensiones correctas de la fuente de alimentación.

Una vez efectuadas estas comprobaciones y si las mismas resultan ser correctas, la CPU inicia la exploración del programa y reinicializa. Esto último si el autómata se encuentra en modo RUN (marcha), ya que de estar en modo STOP (paro) aguardaría, sin explorar el programa, hasta la puesta en RUN.

Al producirse el paso al modo STOP o si se interrumpe la tensión de alimentación durante un tiempo lo suficientemente largo, la CPU realiza las siguientes acciones:

- Detiene la exploración del programa.
- Pone a cero, es decir, desactiva todas las salidas.

Mientras se está ejecutando el programa, la CPU realiza en sucesivos intervalos de tiempo distintas funciones de diagnóstico (*watch-dog* en inglés). Cualquier anomalía que se detecte se reflejará en los indicadores de diagnóstico del procesador y dependiendo de su importancia se generará un código de error o se parará totalmente el sistema, en la figura 3.5 se ilustra de una forma sencilla el ciclo de funcionamiento del PLC.

El tiempo total del ciclo de ejecución viene determinado por los tiempos empleados en las distintas operaciones. El tiempo de exploración del programa es variable en función de la cantidad y tipo de las instrucciones así como de la ejecución de subrutinas. El tiempo de exploración es uno de los parámetros que caracteriza a un PLC y generalmente se suele expresar en milisegundos por cada mil instrucciones. Para reducir los tiempos de ejecución, algunas CPU's constan de dos o más procesadores que operan simultáneamente y están dedicados a funciones específicas. También se puede descargar de tareas a la CPU incorporando módulos inteligentes dedicados a tareas específicas.

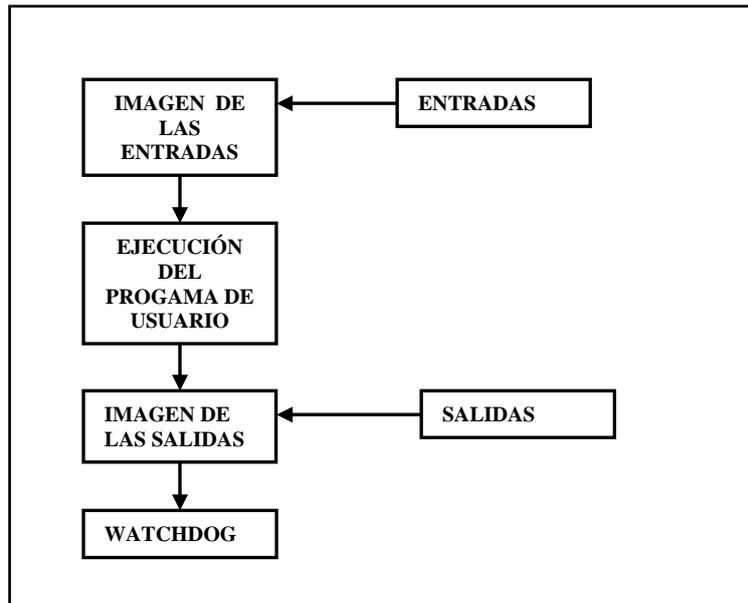


Fig. 3.5 Ciclo básico de funcionamiento del PLC

3.3 Lenguajes de programación.

Un programa es una serie de instrucciones o comandos desarrollados por el usuario que indican al PLC que ejecute acciones. Un lenguaje de programación proporciona reglas para combinar las instrucciones de manera que produzcan las acciones deseadas.

Existen diferentes lenguajes de programación: lista de instrucciones (BOOLEANO o AWL), gráfico (GRAFSET), esquema de funciones (FUP), diagrama de contactos (LADDER o KOP) y lenguajes de alto nivel (C, Basic etc.), siendo el de diagramas de escalera el más utilizado.

Como introducción a los lenguajes de programación, en la siguiente fig. 3.6 se muestra el papel que ellos tienen como medio de entendimiento entre el usuario y el sistema de automatización:

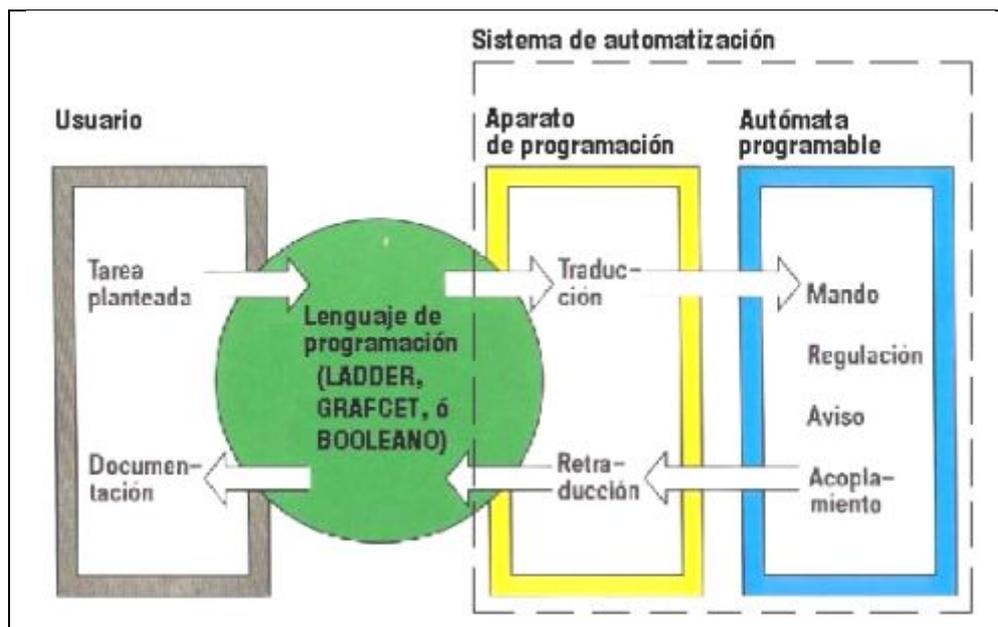


Fig. 3.6. El lenguaje de programación como medio de entendimiento entre el usuario y el sistema de automatización.

3.3.1 Lenguaje de programación LADDER

El lenguaje de programación LADDER (escalera) permite representar gráficamente el circuito de control de un proceso dado mediante el uso simbólico de contactos N.A. y N.C., temporizadores, contadores, registros de desplazamiento, réles, etc. Este tipo de lenguaje debe su nombre a su similitud con los diagramas eléctricos de escalera. El programa en lenguaje LADDER, es realizado y almacenado en la memoria del PLC (sólo en ciertos tipos de PLC's que están preparados para ello) por un individuo (programador). El PLC lee el programa LADDER de forma secuencial (hace un scan o barrido), siguiendo el orden en que los renglones (escalones de la escalera) fueron escritos, comenzando por el renglón superior y terminando con el inferior.

En este tipo de programa cada símbolo representa una variable lógica cuyo estado puede ser verdadero o falso. Dispone de dos barras verticales que representan a la alimentación eléctrica del diagrama; la barra vertical izquierda corresponde a un conductor con tensión y la barra vertical derecha corresponde a la tierra o masa.

A continuación se muestra la simbología más comúnmente usada en la elaboración de diagramas de escalera, según la normativa IEC-1131:

INPUT:

Representa a una entrada normalmente abierta. Este componente puede representar a una entrada física del PLC o a una entrada lógica asociada a un relé interno (auxiliar) del PLC.



NC-INPUT:

Representa a una entrada normalmente cerrada. Este componente puede representar a una entrada física del PLC o a una entrada lógica asociada a un relé interno (auxiliar) del PLC.



Es importante destacar que tanto los contactos asociados a las entradas del PLC como los contactos de los relés internos o auxiliares del mismo, pueden constituir configuraciones lógicas AND, OR, NOT, XOR, etc. (tal y como se vió en la unidad I de este portal), o en forma general, pueden estar representados en las conocidas "tablas de la verdad" a fines de activar o desactivar a salidas específicas del PLC o a relés internos del mismo.

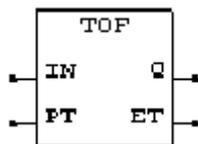
OUTPUT:

Representa a un dispositivo genérico de salida que puede estar asociado a una salida física del PLC o a una salida lógica del diagrama escalera (por ej. una bobina de un relé interno del PLC).

**TOF:**

Este dispositivo representa a un temporizador con retardo a la desconexión.

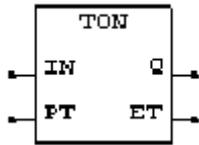
Al aplicar un nivel lógico alto en la entrada IN, inmediatamente se activa la salida Q. En este punto, si se corta la señal en la entrada IN, es cuando comienza a transcurrir el tiempo en el temporizador. Cuando el tiempo programado (aplicado a la entrada PT) ha transcurrido (permaneciendo cortada la señal en la entrada IN), la salida Q se desactiva. Esta condición se mantendrá mientras la entrada IN permanezca sin señal. Si se aplica nuevamente un nivel lógico alto a la entrada IN antes de que el temporizador alcance su tiempo programado, la cuenta del tiempo se pondrá en cero y la salida Q se activará. El pin de salida ET indica el tiempo actual transcurrido.

**TON:**

Este dispositivo representa a un temporizador con retardo a la conexión.

Al aplicar un nivel lógico alto en la entrada IN, comienza a transcurrir el tiempo en el temporizador. Cuando el tiempo programado (aplicado a la entrada PT) ha transcurrido (manteniendo la señal en la entrada IN), la salida Q se activa. Esta condición continuará hasta que se corte la señal en la entrada IN. Si la señal en la entrada IN es cortada antes de que el temporizador alcance su tiempo programado, la cuenta del tiempo se pondrá

en cero y la salida Q se desactivará. El pin de salida ET indica el tiempo actual transcurrido.



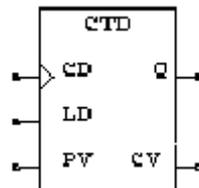
TP:

Este tipo de temporizador tiene el mismo comportamiento del temporizador de simple-tiro o monoestable. Cuando una transición de flanco ascendente (de OFF a ON) es detectada en la entrada IN, la salida Q se activa. Esta condición continuará hasta que el temporizador alcance su tiempo programado en la entrada PT. Luego de que transcurra el tiempo programado en el temporizador, la salida Q permanecerá activa siempre y cuando se mantenga la señal en la entrada IN. Este temporizador no es re-disparable, es decir, que luego de que comience a transcurrir el tiempo en el temporizador, no se podrá detener sino hasta que se complete la sesión. El pin de salida ET indica el tiempo actual transcurrido.



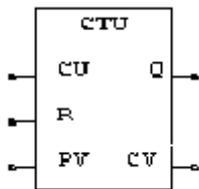
CTD:

Representa a un contador descendente. Un flanco ascendente en la entrada CD (count-down) decrementará la cuenta en 1. La salida Q se activará cuando la cuenta actual sea igual o menor que cero. Si se le aplica un nivel lógico alto en la entrada LD (load), el contador se cargará (carga asíncrona) con el valor que tenga la entrada PV (programmed value). El pin de salida CV (counter value) indica el valor actual de la cuenta.



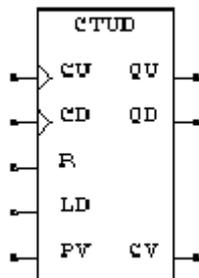
CTU:

Representa a un contador ascendente. Un flanco ascendente en la entrada CU (count-up) incrementará la cuenta en 1. Cuando la cuenta actual alcance al valor fijado en la entrada PV, la salida Q se activará. Si se le aplica un nivel lógico alto en la entrada R (reset), el contador se pondrá en cero (puesta a cero asíncrona). El pin de salida CV indica el valor actual de la cuenta.



CTUD:

Representa a un contador programable ascendente/descendente. Un flanco ascendente en la entrada CU incrementará al contador en 1, mientras que un flanco ascendente en la entrada CD lo decrementará en 1. Si se le aplica un nivel lógico alto en la entrada R, el contador se pondrá en cero. Un nivel lógico alto en la entrada LD cargará al contador con el valor que tenga la entrada PV. La salida QU se activa cuando la cuenta actual sea mayor o igual que el valor fijado en la entrada PV. La salida QD se activa cuando la cuenta actual sea menor o igual que cero. El pin de salida CV indica el valor actual de la cuenta.

**3.3.2 Lenguaje de programación Booleano**

Proporciona un medio literal para la transcripción directa de funciones lógicas que definen una secuencia de control. El lenguaje booleano permite realizar operaciones aritméticas, manejar datos, contar eventos, generar retardos de tiempo, etc. Este lenguaje se denomina también lenguaje literal, de lista de instrucciones o de mnemónicos. En la siguiente tabla se muestra el conjunto de instrucciones típicas del lenguaje booleano:

Mnemónico	Descripción
LD	Primera variable de una función lógica
LD NOT	Complemento de la anterior
AND	Función lógica Y
AND NOT	Función lógica Y con la variable inversa
OR	Función lógica O
OR NOT	Función lógica O con la variable inversa
AND LD	Función lógica Y con la condición previa
OR LD	Función lógica O con la condición previa
OUT	Variable de salida (interna o externa)
TIM	Temporizador
CNT	Contador
KEEP	Biestable
ADD	Suma
SUB	Resta
MUL	Multiplicación
DIV	División
CMP	Comparación de variables numéricas
MOV	Transferir datos entre registros
SFT	Desplazar la información en un registro
BIN	Convertir BCD a binario
BCD	Convertir binario a BCD
JMP	Salto condicional
JME	Fin de salto
END	Fin de programa

Tabla 3.3. Instrucciones típicas del lenguaje booleano.

Por ejemplo, para la expresión $Y1 = Y3 + (X1 \cdot X2)$, la representación en lenguaje booleano se observa en la siguiente tabla:

Instrucciones	Descripción
LD X1	Si se cumple que las variables X1 y X2 están activadas (tienen estado lógico "1") o que la variable Y3 esté activada, entonces la variable de salida Y1 se activa.
AND X2	
OR Y3	
OUT Y1	

Tabla 3.4. Representación en lenguaje booleano del ejemplo planteado.

3.3.3 Lenguaje de programación Grafcet

El lenguaje GRAFCET (Gráficos Funcionales de Control de Etapas y Transiciones), al igual que el lenguaje LADDER y el BOOLEANO, permite programar al PLC. Este lenguaje es un método de representación de sistemas secuenciales y concurrentes definidos por unos elementos gráficos y unas reglas de evolución que reflejan la dinámica del comportamiento de un proceso dado. GRAFCET se basa en que todo automatismo secuencial se puede estructurar en una serie de etapas que representan a estados o sub-estados del sistema, en los cuales se realizan una o más acciones y transiciones, que son las condiciones que deben darse para pasar de una etapa a otra.

Bases del GRAFCET:

La filosofía básica del GRAFCET es la siguiente:

- a. Un proceso secuencial se divide en las llamadas etapas, las cuales representan los estados por los que va atravesando el sistema.
- b. En un primer momento, el sistema arranca y empieza a funcionar desde la llamada etapa inicial.
- c. Cada etapa tiene asociadas unas acciones, es decir, unas órdenes emitidas por el controlador hacia los actuadores. Estas acciones son las responsables directas de que el sistema adopte el comportamiento deseado.
- d. El sistema sólo abandona la etapa en la que se encuentra, cuando se satisface una determinada condición booleana, a la cual se le da el nombre de transición.
- e. Una vez satisfecha la transición, el sistema pasa a otra etapa que, a su vez, se verá superada cuando se satisfaga una nueva transición.

Gráficos de GRAFCET:

Las etapas se van a presentar mediante cuadrados, por lo general identificados con un número. Las acciones asociadas a esa etapa se representan dentro de un rectángulo, colocado a la derecha del cuadrado de la etapa; este rectángulo se une con el cuadrado de la etapa correspondiente por medio de una línea recta. La etapa inicial del sistema se diferencia de las demás porque se dibuja como un cuadrado dentro de otro y se le suele identificar con el número 0.

Las etapas se unen entre sí mediante líneas de evolución que indican las conexiones entre etapas. Si no se indica lo contrario mediante flechas, el sentido del movimiento a lo largo de una de esas líneas será siempre de arriba hacia abajo.

Las transiciones se dibujan como pequeños trazos rectos que cortan perpendicularmente a cada línea de evolución. A un lado de la marca que representa la transición se coloca la expresión booleana correspondiente.

Es muy importante recordar que, en todo gráfico de GRAFCET, se respeta el siguiente principio: a toda etapa le sigue una nueva transición y a cada transición le sigue una nueva etapa. Esto quiere decir que, si recorre el gráfico de GRAFCET, siguiendo los sentidos indicados por las líneas de evolución, se debe respetar el orden Etapa – Transición – Etapa – Transición, etc.

Si el proceso tiene un comportamiento cíclico, se utilizan los reenvíos, que son líneas orientadas que indican la evolución del proceso en sentido inverso, es decir, señalan el paso del sistema de una etapa avanzada a otra que le precedía como el ejemplo mostrado en la Fig. 3.7.

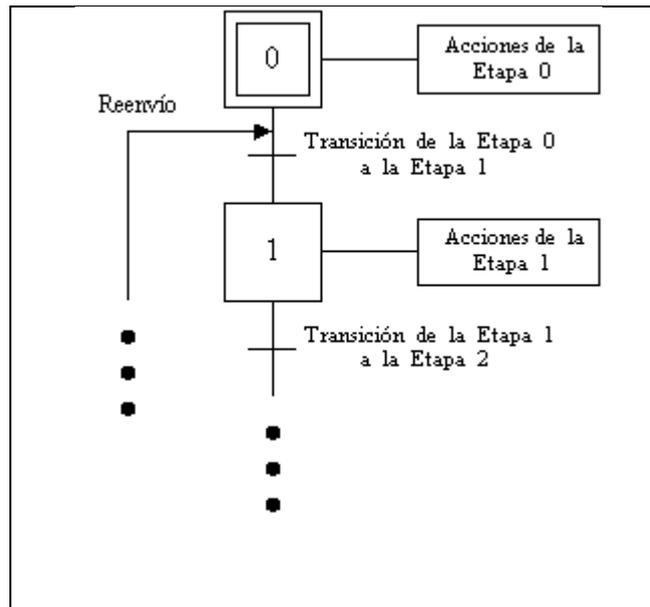


Fig. 3.7. Elementos gráficos fundamentales del GRAFCET.

Se dice que el gráfico de Grafcet es de secuencia lineal cuando satisface las tres condiciones siguientes:

- a. En cualquier momento que se considere, el sistema podrá encontrarse en una y sólo una de sus etapas.
- b. Si el sistema se encuentra en la etapa n , cuando se cumpla la transición involucrada, el sistema sólo se podrá trasladar a la etapa $n+1$.
- c. La activación de una etapa implica la desactivación de la precedente.

Divergencia y Convergencia en O:

En muchos sistemas de eventos discretos se presenta la situación de que, llegados a un cierto estado, automáticamente se debe tomar la decisión con respecto a si el sistema debe desplazarse a una etapa o a otra. En los diagramas de GRAFCET esto se conoce como divergencia en O e implica dos o más caminos paralelos para el sistema.

Los caminos paralelos que se generan con la existencia de una divergencia en O tienen que reunirse más adelante en el diagrama (a esto se le llama convergencia en O), bien sea porque todos lo hacen al mismo tiempo o porque lo van realizando progresivamente. La divergencia en O se muestra en la siguiente Fig. 3.8, en la cual se han eliminado todos los bloques de las acciones para no recargar el dibujo.

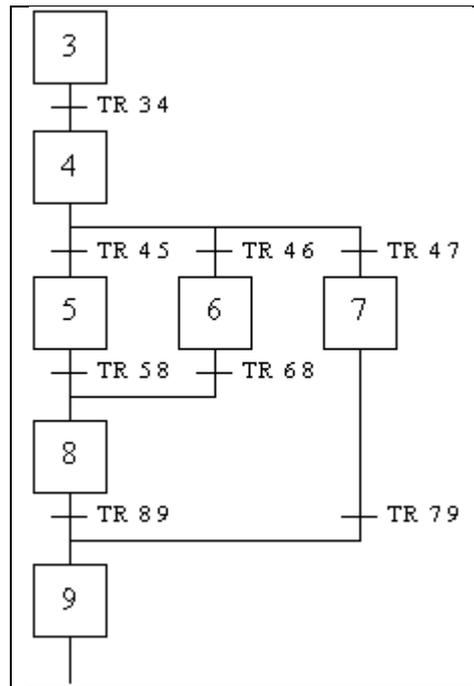


Fig. 3.8 Convergencia y divergencia en O.

Obsérvese que en la figura anterior, cuando se sale de la etapa 4, se pueden seguir tres caminos paralelos. En este caso, el camino que tomará el sistema va a depender de la transición que se cumpla (4 5, 4 6, ó 4 7). Estas transiciones ubicadas a la salida de una divergencia en O tienen que ser mutuamente excluyentes, de manera que resulte imposible que el sistema tome más de un solo camino a la vez.

Divergencia y Convergencia en Y:

En muchos sistemas de eventos discretos se presenta la situación de que, superada cierta etapa, se deben emprender caminos simultáneos o concurrentes, que se van desarrollando independientemente hasta que vuelven a reunirse más adelante. Cuando surgen estos caminos simultáneos, se dice que estamos en presencia de una divergencia en Y. Al traspasar el sistema una divergencia de este tipo, se presenta la única situación en la cual varias etapas están activas simultáneamente.

Al igual que como ocurre con las divergencias en O, los caminos que surgen de una divergencia en Y tienen que reunirse más adelante (convergencia en Y), bien sea todos de una vez, o por partes.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un sistema que presenta divergencias y convergencias en Y. Observe que la notación para este tipo de divergencia y convergencia es diferente a la del tipo O. Ahora se emplean dos líneas paralelas, recalcando que, al superar la divergencia, el sistema comprende dos o más caminos paralelos, independientes y simultáneos.

Observe también de las diferencias que existen entre las ubicaciones relativas de las divergencias y convergencias en O y sus transiciones vecinas, con respecto a las divergencias y convergencias en Y. En este último caso hay una transición (y no una etapa) que precede a la divergencia y también hay una transición (y no una etapa) que sucede a la convergencia.

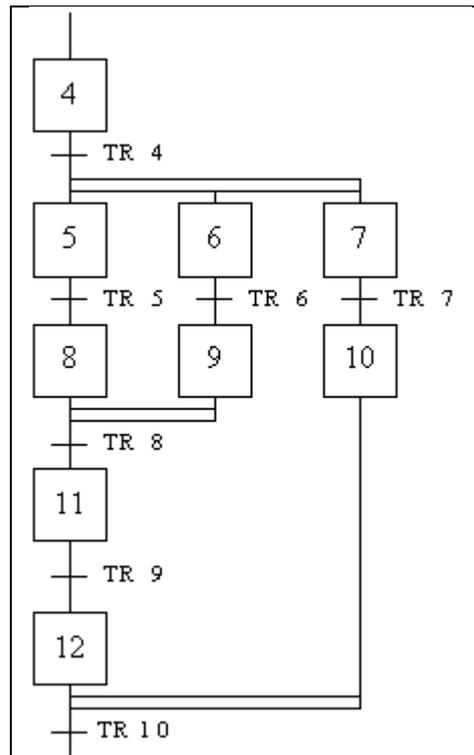


Fig. 3.9 Divergencias y convergencias en Y.

Macroetapas:

Una macroetapa no es más que una etapa especial que puede abarcar dentro de sí a varias etapas, transiciones, convergencias y divergencias. En cierto sentido, la macroetapa es similar a la subrutina de la programación de computadoras. No obstante, se diferencia de la subrutina en que, para cualquier momento de la evolución del sistema, una macroetapa sólo puede estar activa una vez. Esto quiere decir que, si el sistema está desarrollándose a lo largo de dos o más caminos simultáneos (como consecuencia de haber traspasado una divergencia en Y), entonces una etapa de uno de esos caminos llama a la macroetapa, no se puede permitir que, estando ésta activa, sea llamada de nuevo por una etapa de otro de los caminos activos.

A la hora de aplicar las macroetapas, es muy importante tener presente que ellas deben tener una sola vía de entrada y una sola vía de salida.

En la siguiente figura se puede observar que el símbolo está compuesto por un cuadrado idéntico al empleado para una etapa corriente, pero que ha sido dividido en tres partes iguales. En la parte superior se coloca un número en relación con la numeración que se viene asignando a las anteriores etapas del proceso. En medio está la identificación de la macroetapa, la cual, generalmente, va precedida de la letra M. Por último, en la casilla inferior se coloca una frase que identifica la acción que se realiza dentro de esa macroetapa.

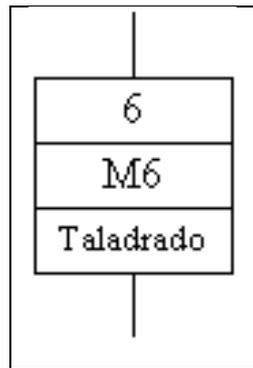


Fig. 3.10 Ejemplo de la simbología de una macroetapa.

Las macroetapas resultan muy útiles cuando, a lo largo de un proceso, se repite varias veces un mismo subproceso.

3.3.4 Esquema de funciones (FUP)

Es un lenguaje de programación gráfico que utiliza cuadros de álgebra booleana para representar la lógica. En el FUP se utilizan símbolos normalizados para representar las operaciones, en el apartado 3.4.2 daremos una explicación más detallada de este lenguaje que utilizaremos para programar el PLC LOGO! de SIEMENS.

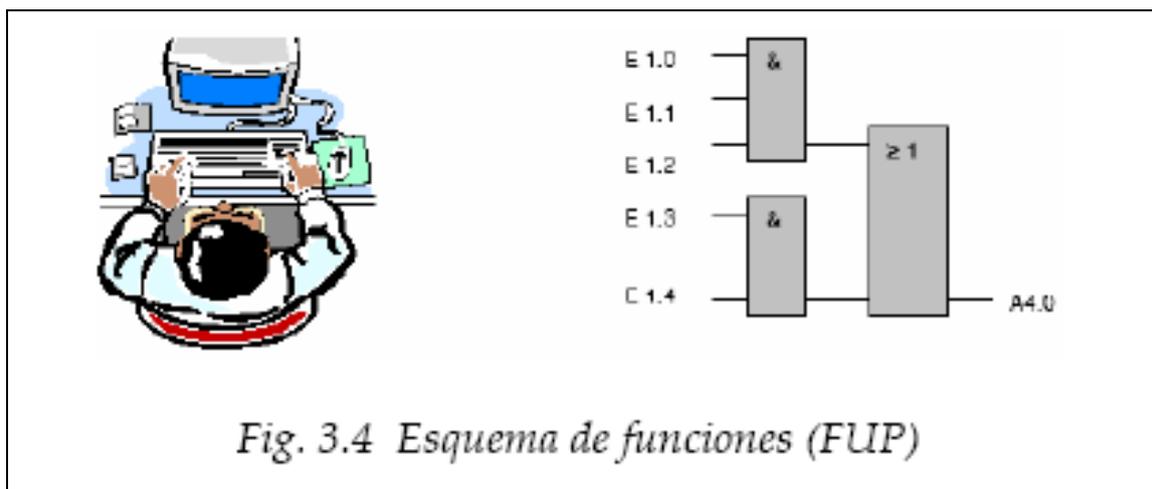


Fig. 3.4 Esquema de funciones (FUP)

3.3.5 Los SCADA'S

Un sistema SCADA podría definirse como “una aplicación software diseñada especialmente para funcionar sobre ordenadores de control de producción”, comunicada con la planta mediante interconexión digital con los reguladores básicos y, con el usuario mediante interfaces gráficas de alto nivel como pantallas táctiles, lápices ópticos, ratones, etc.

Desde la pantalla del ordenador, que es configurada por el usuario y es fácilmente modificable, el sistema permite la comunicación con los dispositivos de campo (módulos lógicos programables, PLC, sistemas de dosificación, máquinas de control numérico, etc.) para controlar el proceso de forma automática. Además de toda la información generada en el proceso productivo, se envía a cada usuario de la empresa

(supervisión, ingeniería, control de calidad, mantenimiento, etc.) información que estos necesitan.

A fin de que la instalación de un sistema SCADA sea perfectamente aprovechada debe cumplir ciertas condiciones:

- a) Ha de ser un sistema de arquitectura abierta, capaz de ampliarse y acomodarse a necesidades cambiantes.
- b) Ha de permitir una fácil comunicación y de forma transparente para el operador, tanto con el equipo de planta (drivers de comunicación con API, CN, PID, etc.) como con el resto de la empresa (gestión y acceso a redes locales).
- c) Ha de utilizar programas fáciles de instalar, con no demasiadas exigencias de hardware, sencillos de utilizar y disponiendo de interfaces afines al usuario, tales como imágenes, sonido, pantallas táctiles, etc.

Cumpliendo tales condiciones, el sistema SCADA llega a ser una herramienta fundamental en la organización del proceso productivo permitiendo el establecimiento de estrategias avanzadas de gestión con respuestas inmediatas de la producción.

Como soporte hardware de los programas SCADA se utilizan normalmente ordenadores convencionales (miniordenadores PC, ordenadores portátiles y estaciones de trabajo). Aunque pueden emplearse arquitecturas económicas basadas en ordenadores PC con sistema operativo Windows y software adicional con funcionalidades del tipo de interrupciones, comunicación en red, etc; para mejorar sus prestaciones, la utilización de ordenadores con sistemas operativos más completos (VAX/VMS, UNIX, Windows NT, etc.) y arquitectura cliente-servidor aptas para compartir recursos informáticos (datos y aplicaciones) permiten ofrecer programas capaces de atender simultáneamente a varios servicios. Por ejemplo, un operador puede estar viendo informes de incidencias desde un ordenador industrial con sistema operativo UNIX en tanto que otro está modificando la evolución del proceso desde una estación de trabajo y un tercero monitorizando la situación de la planta desde un PC. Estas arquitecturas cliente-servidor se utiliza en grandes aplicaciones a fin de repartir los datos procesados entre distintos ordenadores. Por ejemplo, se podrían establecer nodos separados a modo de servidores para la demanda de tareas tales como monitorización y procesado de alarmas, comunicación con los dispositivos de E/S de campo, registro y almacenamiento de datos para históricos, análisis de tendencias, etc.

Un factor esencial a tener en cuenta para la elección del sistema es la capacidad del sistema operativo sobre el que corre la aplicación para soportar multitarea y/o multiusuario: La capacidad multiusuario es de utilidad cuando en las aplicaciones complejas se han de disponer en lugares separados funciones específicas en cada uno de ellos: Tales sistemas usualmente se articulan median redes de área local (LAN).

Para aplicaciones de media y baja complejidad, actualmente es habitual la utilización de ordenadores PC, con una CPU tanto más potente cuanto menores sean los tiempos de respuesta exigidos y configuraciones tanto más robustas cuanto más agresivas sean las condiciones ambientales de la aplicación. A pesar de leves inconveniente, Windows se mantiene por el momento como el sistema operativo típico de soporte con un paquete

software SCADA que corre sobre el en multitarea y monousuario, aunque la tendencia en el futuro nos esta llevando cada vez más al uso de sistemas operativos de código abierto como LINUX o UNIX debido a sus ventajas: en costos económicos (Licencias) y a la posibilidad de adecuarlos más fácilmente a necesidades específicas. Windows aprovecha las ventajas de un entorno familiar multitarea con un intercambio de datos entre aplicaciones muy sencillo (DDE, OLE), una potente interfaz de usuario (GUI) y características de sistema abierto para incorporar fácilmente nuevos software de interfaz audiovisual o multimedia. Mediante interfaces serie (RS-232, RS-422 o RS-485) y utilizando los protocolos adecuados, ya incluidos en el propio SCADA, se realiza la comunicación con los elementos de campo.

También es importante saber el número de pantallas gráficas de representación (sinópticos) que el sistema puede soportar, así como el número máximo de variables a manipular.

Finalmente son también datos a considerar la capacidad de intercambio de datos con otros entornos como dBase, matlab, Exel, para integrar sus funciones dentro de la aplicación (cálculos matemáticos, cálculos estadísticos , gráficos, presentaciones, etc.) y, la posibilidad de programación de funciones complejas incluyendo en el SCADA ficheros y rutinas escritos en lenguajes de propósito general (C, Pascal, Basic, etc.).

3.4 LOGO! Siemens

La división Industry Automation de Siemens (SIMATIC) ha diseñado y fabricado nuevos equipos básicos Logo! Los módulos lógicos de las series OBA5 y OBA6 son mucho más eficaces que los modelos anteriores.

Su capacidad basta para almacenar hasta 130 bloques en la serie (OBA5), o hasta 200 bloques de función en la serie (OBA6), cincuenta por ciento más que hasta ahora, y sus entradas analógicas se han duplicado hasta totalizar cuatro. Los nuevos equipos cuentan cuatro contadores rápidos de hasta cinco kilohercios, albergan funciones de servicio remoto y tienen menús en diez idiomas opcionales. Destaca en particular el nuevo visualizador de texto adaptado a los módulos lógicos que está acoplado al mismo equipo básico o puede instalarse a una distancia máxima de diez metros de este último.

Los nuevos módulos lógicos LOGO! de la serie OBA6 son de aplicación universal en la industria y la inmótica. Sus múltiples aplicaciones abarcan desde controles luminotécnicos, instalaciones lavacoche y controles de acceso hasta equipos elevadores de presión y estaciones de bombeo, pasando por equipamiento para acuarios, compactadores de basura, máquinas para cercar, sistemas de lubricación de ejes ferroviarios o instalaciones de alimentación de ganado.

El nuevo visualizador de textos tiene cuatro líneas a razón de doce caracteres por línea. El visualizador es capaz de configurar 50 mensajes distintos de cuatro líneas con posibilidades de visualización extendidas por funciones tales como ticker text, diagramas de barra (Bargraph) o parámetros alternantes. Por cada ticker text corrido es posible depositar por ejemplo, hasta 32 caracteres por línea.

Las indicaciones en el visualizador externo son independientes de las que aparecen en el

visualizador interno del equipo. De esta manera se pueden visualizar, por ejemplo, mensajes relevantes para el manejo en el visualizador separado mientras que las informaciones útiles para el servicio técnico aparecen en el tablero eléctrico.

Los nuevos módulos lógicos así como los visualizadores interno y externo se configuran con el software estándar LOGO! Soft Comfort V5 y V6. Nuevos bloques de función dedicados a la aritmética y la modulación por anchura de pulsos extienden las aplicaciones posibles. La función de servicio remoto simplifica el control del equipo y el diagnóstico en caso de avería. Para reequipar instalaciones ya existentes dotadas de módulos Logo! de generaciones pasadas basta con recambiar los equipos básicos. Los módulos de extensión y comunicación instalados pueden continuar en servicio, lo mismo que los programas ya elaborados.



Fig. 3.11 Mini PLC o Modulo Lógico de Siemens

LOGO! resulta ser una excelente solución para resolver las tareas de automatización en sistemas domésticos, edificios y en aplicaciones industriales sencillas, debido a su bajo costo fácil instalación y programación, donde un PLC más complejo no sería rentable; Algunos ejemplos de sus aplicaciones son:

- Sistemas de refrigeración y aire acondicionado.
- Sistemas de calefacción.
- Control de cintas transportadoras.
- Supervisión de estacionamientos.
- Alumbrado Inteligente.
- Control de calderas.
- Control de varios pares de bombas con operación centralizada.

Etcétera.

El LOGO! también cuenta con la posibilidad de comunicación con otros dispositivos como sensores y actuadores virtuales o otros LOGO's o PLC's en red,

PCs y redes IP utilizando de sus módulos de comunicación (CM) a través de interfaces AS y EIB/KNX.

3.4.1 Características técnicas del LOGO!

LOGO! Basic esta disponible para dos clases de tensión:

- Categoría 1 $\leq 24V$ es decir, 12VDC, 24VDC, 24VAC.
- Categoría 2 $\geq 24V$ es decir, 115VAC y 240VAC.

LOGO! cuenta con diferentes módulos de expansión de entradas y salidas analógicas y con módulos de comunicación para incrementar su capacidad de control, que a continuación mencionaremos.

Módulos de expansión:

- Módulos digitales DM8 con 4 entradas y ocho salidas digitales.
- Módulos digitales DM16 con 8 entradas digitales y ocho salidas digitales.
- Módulos analógicos para 24VDC con dos entradas analógicas o con 2 entradas Pt100 y con dos salidas analógicas.

Módulos de comunicación:

- Modulo de comunicación (CM) Interfaz AS.

Este modulo de comunicación dispone de 4 entradas y salidas virtuales y funciona como interfaz entre una interfaz AS y el sistema LOGO!. Con ayuda de este modulo es posible transferir 4 bits de datos de LOGO! Basic al sistema de la interfaz AS y/o en dirección inversa.

- Modulo de comunicación (CM) EIB/KNX.

CM EIB/KNX es un modulo de comunicación (CM) para la conexión de LOGO! a EIB.

Como interfaz con EIB, el CM EIB/KNX permite la comunicación con otras estaciones EIB. Para ello se define una configuración en el CM EIB /KNX, que especifica que entradas/salidas de LOGO! deben de establecerse con el bus EIB. Las entradas y salidas correspondientes pueden conectarse con las funciones del LOGO!.

Cada LOGO! Basic dispone de las siguientes conexiones para la elaboración del programa, independientemente de los módulos conectados:

- Entradas digitales I1 hasta I24.
- Entradas analógicas AI1 hasta AI8.
- Salidas digitales Q1 hasta Q16.
- Salidas analógicas AQ1 hasta AQ2.
- Marcas digitales M1 hasta M24, M8: marcas de arranque.

- Marcas analógicas AM1 hasta AM6.
- Bits de registro de desplazamiento S1 hasta S8.
- 4 teclas de cursor.
- 16 salidas no conectadas X1 hasta X16.

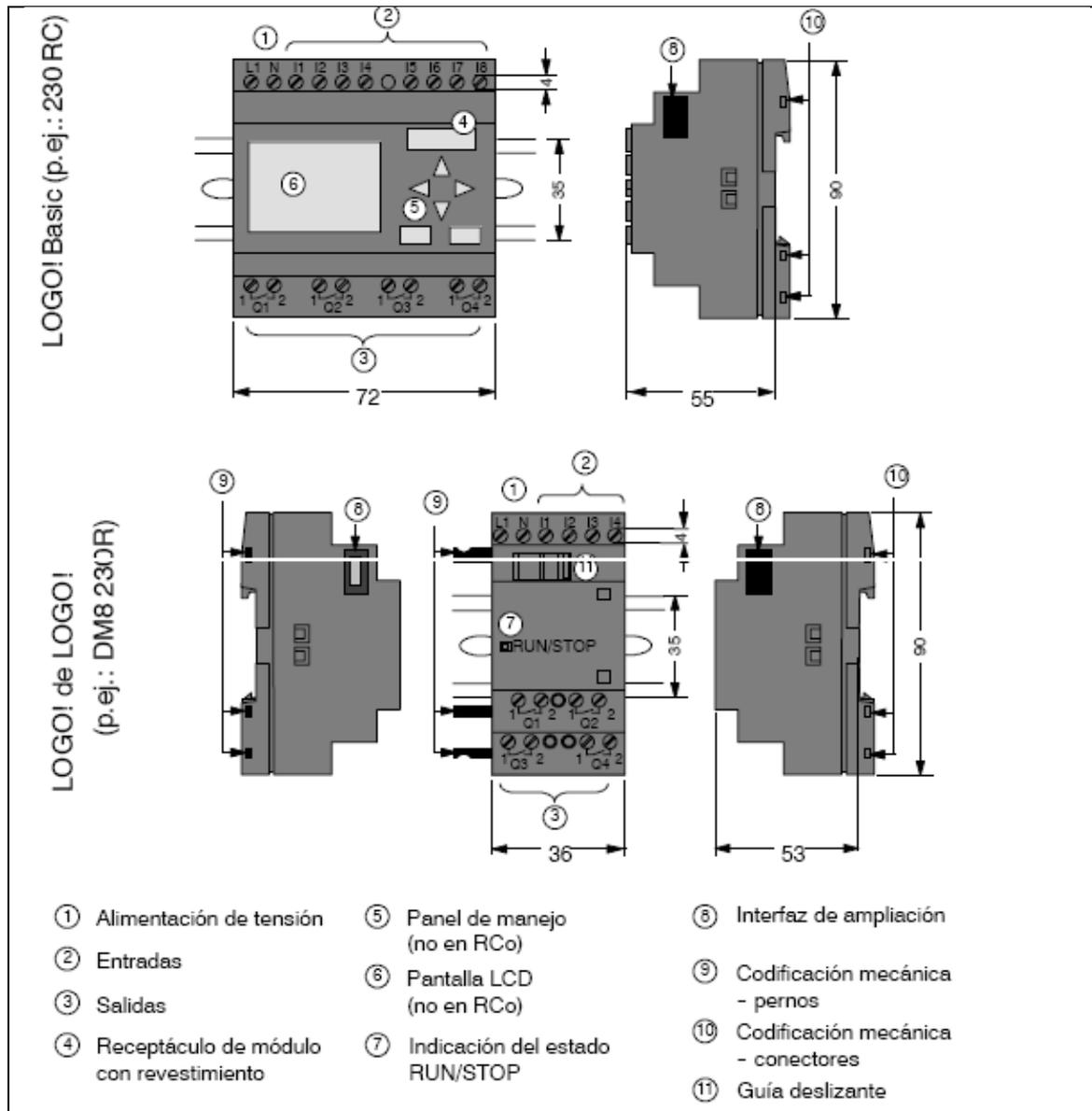


Fig. 3.11 Esquema físico del LOGO!

3.4.2 Programación del LOGO!

Básicamente, un programa de LOGO! no es más que un esquema de conexión eléctrica (LADDER) representado de una forma diferente, es decir nos auxiliamos de esquemas

de funciones (FUT). LOGO! Soft Comfort es el software de programación para el LOGO!, con el que se puede crear, probar, simular, modificar, guardar e imprimir programas fácilmente.

Vamos a explicar brevemente el proceso de programación del LOGO!, primero explicaremos los dos conceptos fundamentales bornes y Bloques en un segundo paso desarrollaremos un programa sencillo a partir de una conexión convencional sencilla y finalmente introduciremos el programa directamente en el LOGO!.

Bornes.

LOGO! dispone de entradas y salidas como se ilustra en la figura 3.12.

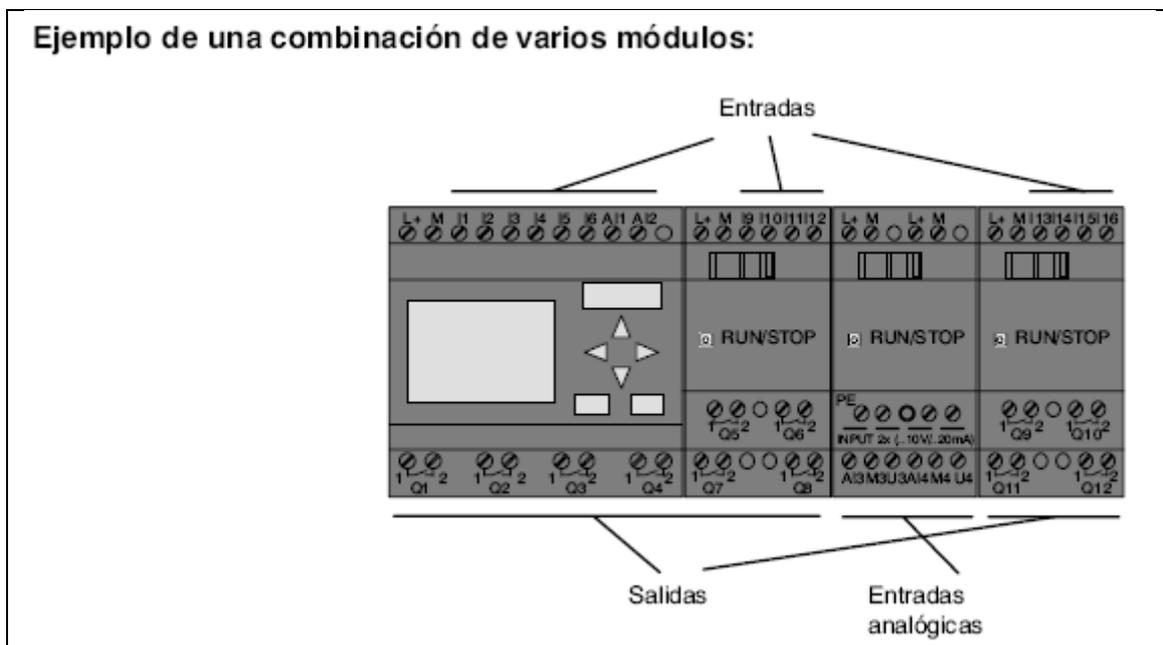


Fig. 3.12 Entradas y salidas del LOGO!.

Las entradas se designan con la letra I y una cifra. Si se observa la parte frontal de LOGO! verá en la parte superior los bornes para las entradas. Sólo en los módulos analógicos LOGO! AM2 PT100 las entradas están en la parte inferior.

Las salidas están indicadas con una letra Q y una cifra (AM2 AQ: AQ y una cifra). Los bornes de las salidas se encuentran en la parte inferior.

Como bornes se denominan todas las conexiones y estados que se pueden utilizar en el LOGO!.

Las entradas y salidas digitales pueden adoptar el estado “0” o el estado “1”. El estado “0” significa que no hay tensión en la entrada. El estado “1” significa que si hay tensión.

Los bornes “hi”, “lo” y “x” se han introducido para facilitar la elaboración del programa:

- “hi” (high) presenta el estado fijo “1”
- “lo” (low”) presenta el estado fijo “0”

No debe de utilizar todas las conexiones de un bloque. Para conexiones no utilizadas, el programa adopta automáticamente el estado que garantiza el funcionamiento del bloque en cuestión. Si lo desea, puede identificar las conexiones no utilizadas de forma especial con el borne “x”.

Entradas/Salidas EIB y AS.

El LOGO! también cuenta con módulos de comunicación que pueden ser utilizados para transportar datos de sensores remotos, gobernar actuadores a grandes distancias e interconectarse con otros PLC, PC y redes IP.

Bloques y número de bloque.

En LOGO! un bloque es una función que convierte información de entrada en información de salida.

Al elaborar el programa se debe conectar bornes a bloques. A tal efecto, basta con elegir la conexión deseada con el menú Co. El menú Co debe su nombre al término inglés “Connetor” (borne).

Vinculaciones lógicas. Los bloques más sencillos son vinculaciones lógicas:

- Y (AND)
- (OR)
-

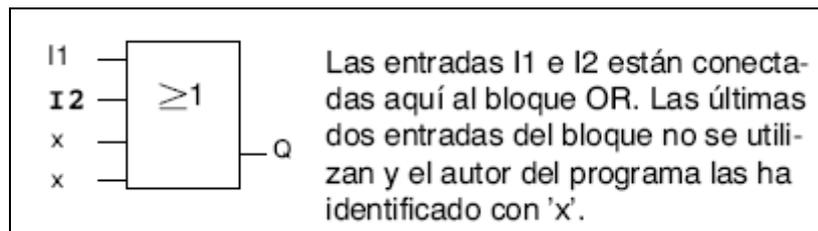


Fig. 3.13 Bloque OR

Bastante más eficientes son las funciones especiales:

- Relé de impulsos.
- Contador avance/retroceso
- Retardo de activación
- Interruptor de software
- Controlador PI

LOGO! cuenta co 8 funciones básicas y 28 especiales las cuales solo explicaremos las que vamos a emplear para mayor información se puede consultar el manual de LOGO.

3.4.2.1 Representación de un bloque en la pantalla del LOGO!

En la figura 3.14 se muestra una pantalla típica de LOGO!. Solo puede representarse un bloque en cada caso. Debido a ello se ha previsto números de bloque para ayudarnos a controlar un circuito en conjunto.

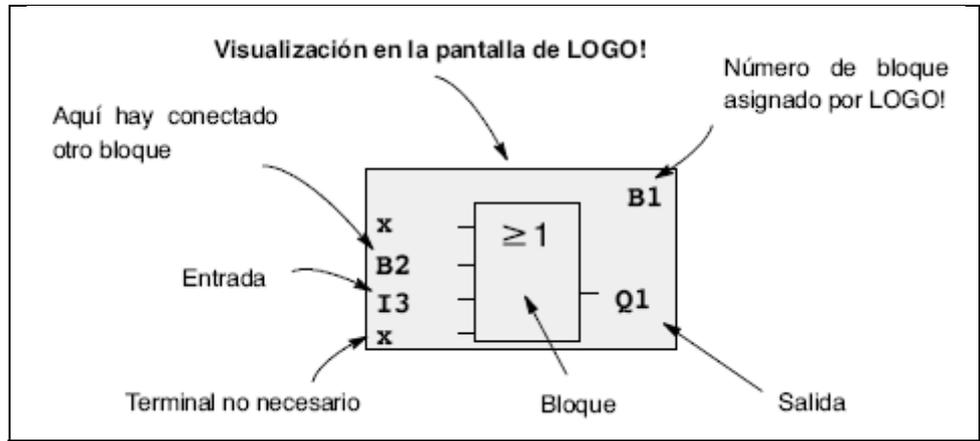


Fig. 3.14 Visualización de un bloque en la pantalla del LOGO!

Cada vez que se inserta un bloque en el programa, LOGO! asigna a ese bloque un número de bloque.

3.4.2.2 Del diagrama de Escalera a LOGO!.

Como se ha mencionado anteriormente una forma de representar un circuito es el diagrama en escalera como mostramos en el siguiente ejemplo de la figura 3.15.

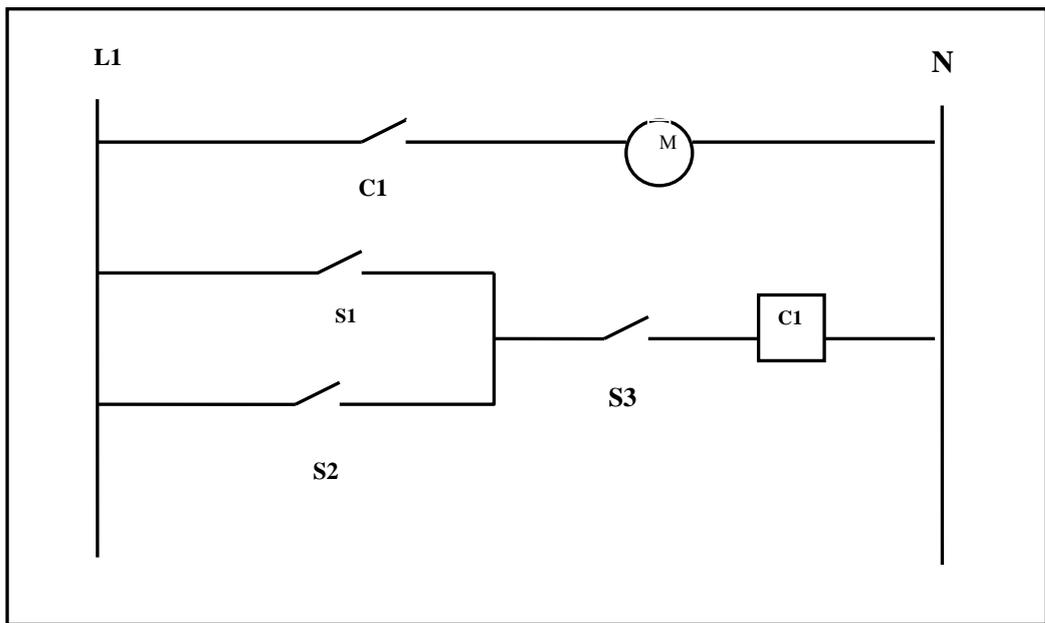


Fig. 3.15 Diagrama en escalera

El contacto C1 se activa y desactiva a través de los interruptores (S1 o S2) y S3. Se excita el relé C1 al cerrarse S1 o S3 y además S3.

En LOGO! se creará un circuito en el que se conectarán los bloques y bornes entre ellos como se muestra en la figura 3.16.

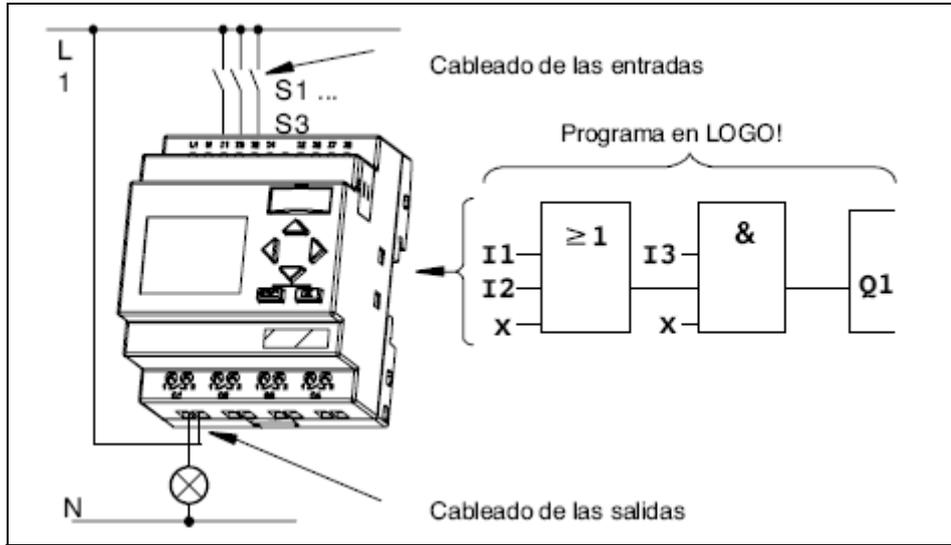


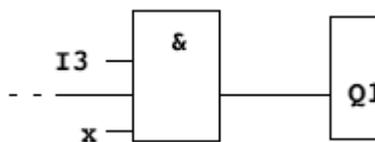
Fig. 3.16 Circuito en LOGO!

Para convertir un circuito a LOGO! deberá comenzar en la salida del circuito (sólo para la programación directa en el LOGO!).

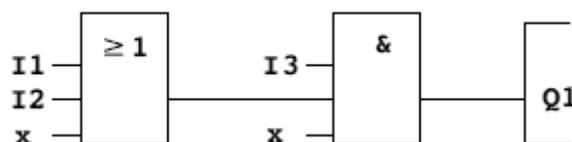
La salida es la carga o el relé que debe de efectuar la conmutación.

El circuito es convertido en bloques. A tal efecto, deberemos de procesar el circuito desde la salida hasta la entrada:

Paso 1: En la salida Q1 hay una conexión en serie del contacto de cierre S3 con otro elemento del circuito. Esta conexión en serie equivale a un bloque AND:



Paso 2: S1 y S2 están conectadas en paralelo. Esta conexión en paralelo equivale a un bloque OR:



Entradas no utilizadas.

Para conexiones no utilizadas, el programa adopta automáticamente el estado que garantiza el funcionamiento del bloque en cuestión. Y si lo deseamos podemos identificar las conexiones no utilizadas de forma especial con el borne “x”.

En el ejemplo que planteamos solo se utilizan dos entradas del bloque OR y dos entradas del bloque AND; las entradas que sobran se han identificado como no utilizadas por el borne “x”.

Cambio del modo de operación.

- El programa se elaborará en el modo de programación. Tras una conexión a la alimentación en el display aparecerá la leyenda “**No Program/Press ESC**”, deberemos presionar la tecla **ESC** para acceder al modo de programación.
- La modificación de los valores de tiempo y de parámetros en un programa que ya existe puede realizarse en los modos de parametrización y programación. Durante la parametrización LOGO! se encuentra en el modo de RUN, es decir, el programa continúa en procesamiento. Para programar debe finalizar el programa con el comando “**STOP**”
- Para acceder al modo **RUN** debe ejecutar el comando de menú “Start” del menú principal.
- En el modo Run, para regresar al modo de operación Parametrización deberá pulsar la tecla **Esc**.
- Si está en el modo de parametrización y desea regresar al modo **RUN** ejecute el comando “**stop**” del menú de Parametrización” y responda con “**Yes**” a “**Stop Prg**” colocando el cursor sobre “Yes” y pulsando la tecla **OK**.

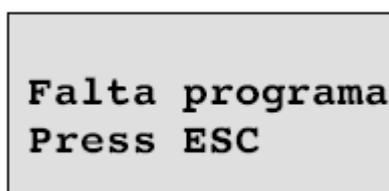
Se dan más detalles sobre los modos de funcionamiento en el anexo C.

Introducir e iniciar el programa.

Ya creado un circuito se procederá a introducirlo en el LOGO!. Mostraremos un pequeño ejemplo para ilustrar como se hace.

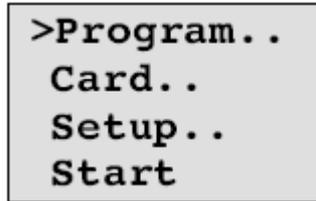
Pasar el modo de programación.

Deberemos conectar el LOGO! a la red, ya conectado a red de tensión, aparece en la pantalla lo siguiente:



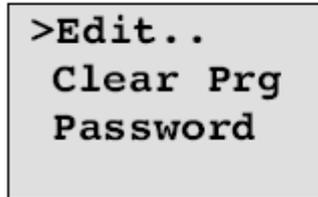
**Falta programa
Press ESC**

Conmute LOGO! en el modo de programación pulsando la tecla **ESC**. A continuación pasará al menú principal del LOGO!:



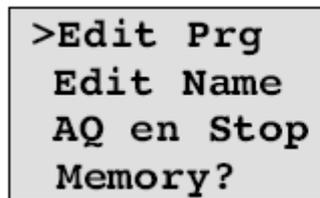
Menú principal de LOGO!

En el primer lugar de la primera fila aparece el símbolo “>”. Pulsando las teclas **▲** y **▼** se desplaza el “>” verticalmente. Posicione el “>” en “Program...” y pulse la tecla **OK**. Además LOGO! pasara la menú de programación.



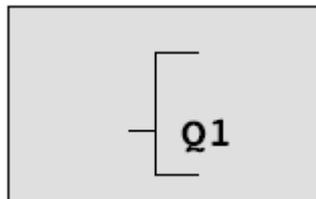
Menú de programación de LOGO!

También aquí podrá desplazar el símbolo “>” mediante las teclas **▲** y **▼**. Ponga “>” en “**Edit...**” (para editar, es decir introducir) y pulse la tecla **OK**.



El menú de edición de LOGO!

Ponga “>” sobre “**Edit Prg**” (para editar el programa y pulse la tecla **OK**. LOGO! le mostrara la primera salida. :



Primera salida de LOGO!

Ahora se encuentra en el modo de programación. Pulsando las teclas **▲** y **▼** pueden elegirse las demás salidas. Ahora podremos introducir el programa.

3.4.2.3 Asignar nombre al programa.

Así podremos asignar nombre a nuestro programa. Este estará compuesto por letras en mayúsculas y minúsculas, números y caracteres especiales hasta un máximo de 16 caracteres.

En el menú de programación:

1. Colocar “>” sobre **“Edit...”** Teclas ▲ o ▼
2. Aplicar **“Edit...”** Tecla **OK**
3. Colocar “>” sobre **“Edit Name”** Teclas ▲ o ▼
4. Aplicar **“Edit Name”** Tecla **OK**

Pulsando las teclas ▲ y ▼ podremos ver un lista del alfabeto de A(a) a Z(z), números y caracteres especiales, y ordenarla en orden inverso. De esta forma podremos seleccionar cualquier letra, número o carácter especial.

Si deseamos incluir un espacio, solo tendremos que mover el cursor hasta la posición siguiente por medio de la tecla ►.

Contraseña.

Una contraseña protege a un programa de la edición por personas no autorizadas.

Asignación de contraseña. Las contraseñas pueden tener un máximo de 10 caracteres de longitud y estará compuesto exclusivamente por mayúsculas (de la A a la Z). En el dispositivo solo se puede asignar, modificar o desactivar contraseñas desde el menú “Contraseña”.

En el menú de programación:

1. Colocar “>” sobre **“Password”:** Teclas ▲ o ▼
2. Aplicar **“Password”:** Tecla **OK**

Pulsando las teclas ▲ o ▼ podremos enumerar el abecedario de la A a la Z o de la Z a la A y seleccionar cualquier letra. Puesto que el LOGO! solo pone a nuestra disposición las letras mayúsculas para introducir nuestra contraseña, encontraremos las letras más rápidamente “al final” del alfabeto pulsando la tecla ▲:

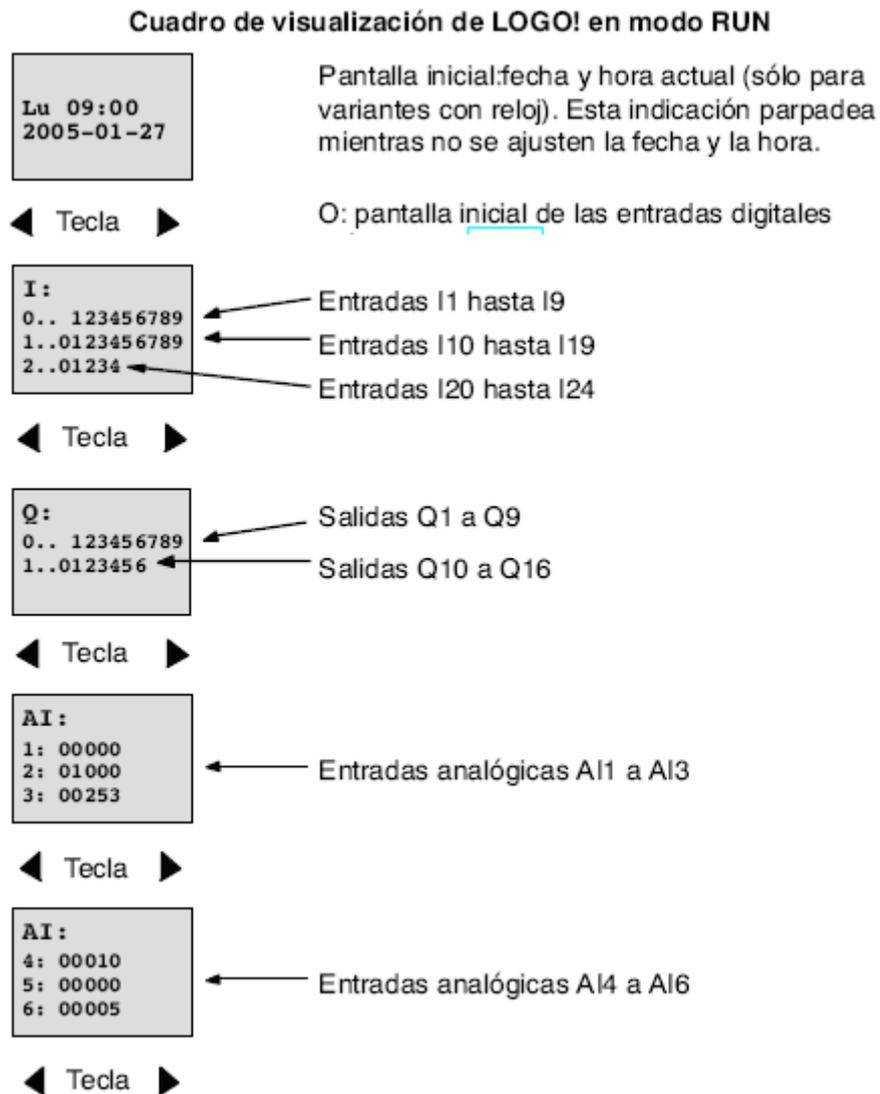
Tecla ▲ aparecerá “Z”. Si pulsamos dos veces la tecla aparecerá el signo “{”, etc.

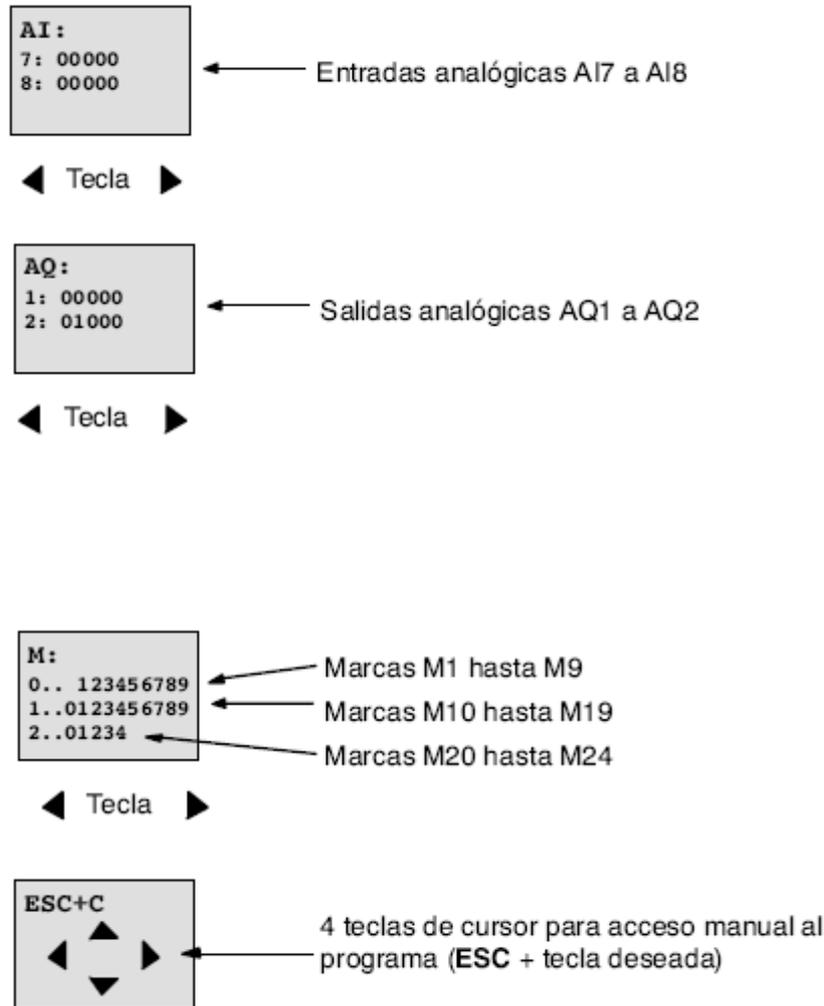
3.5 LOGO! a RUN

LOGO! se puede conmutar a RUN desde el modo principal.

1. Regresar al menú principal. Tecla **Esc**
2. Colocar “>” sobre “**Start**”: Teclas **▲** o **▼**
3. Aplicar “Start” Tecla **OK**

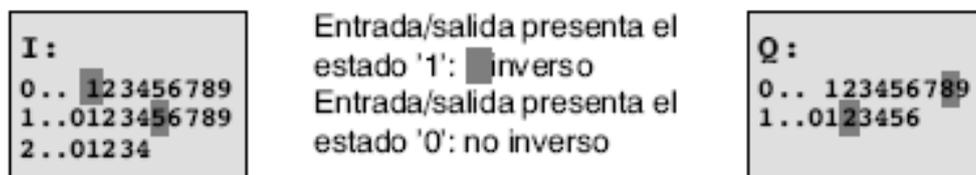
LOGO! arrancará el programa y muestra la siguiente pantalla:





En el modo RUN, LOGO! procesa el programa. Para ello, LOGO! lee primero los estados de las entradas, determina los estados de las salidas a partir del programa introducido y las conecta o desconecta

LOGO! representa el estado de una entrada o salida así:



En este ejemplo, solamente I1, I15, Q8 y Q12 son "high".

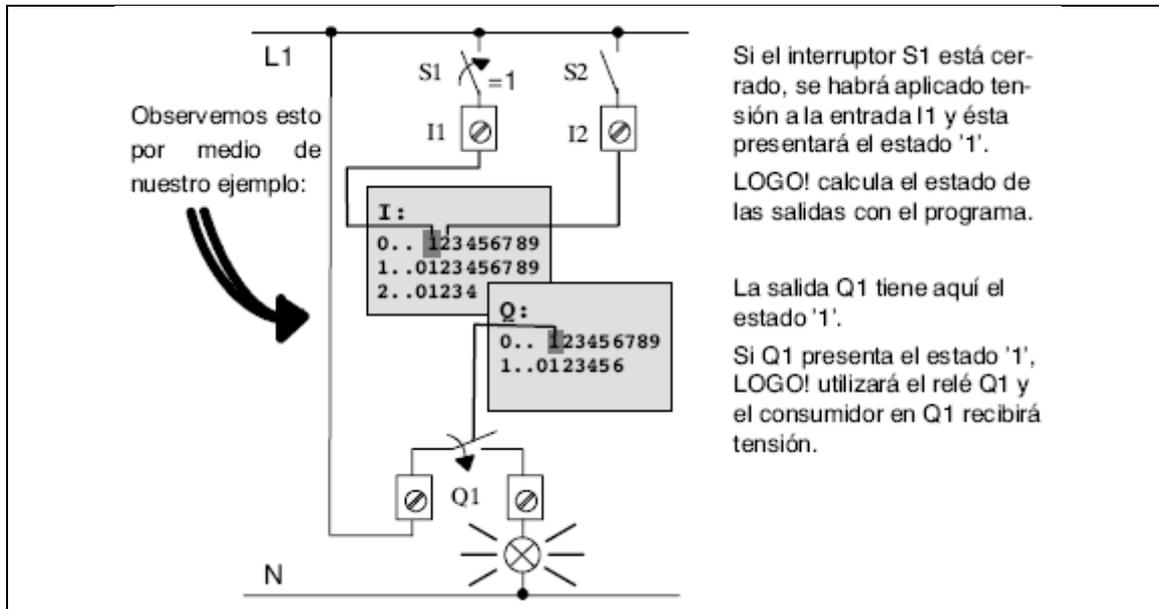


Fig. 3.17 Representación del estado de la pantalla.

3.6 Parametrizar LOGO!

Se entiende por parametrización el ajuste de los parámetros para los bloques. Para ajustar por ejemplo los tiempos de retardo de funciones de tiempo, los tiempos de conexión de los temporizadores, el valor umbral de un contador, el intervalo de supervisión de un contador de horas de servicio y los umbrales de conexión y desconexión del interruptor de valor umbral.

Podemos ajustar los parámetros de las dos formas siguientes:

- En el modo de operación “Programación” o
- En el modo de operación “Parametrización”.

En el modo de programación, el autor del programa define los parámetros.

Sea introducido el modo de parametrización para poder modificar parámetros sin necesidad de modificar el programa. De este modo el usuario puede modificar parámetros sin necesidad de cambiar al modo de programación. La ventaja: el programa permanece protegido y no obstante el usuario puede adaptarlo a sus necesidades de acuerdo a las instrucciones.

Módulo de programa (Card) LOGO!.

En LOGO! solo podemos tener un programa en la memoria. Si deseamos cambiar el programa o escribir un programa nuevo sin borrar el primero, deberemos archivarlo en algún sitio. Una posibilidad consiste en usar módulos de programa (Cards).

Podemos compilar el programa que esta guardado en el LOGO! en un modulo de programa (Card). Podemos insertar el modulo de programa (Card) en otro LOGO!. El modulo de programa (Card) nos permitirá:

- Archivar programas
- Reproducir programas
- Enviar programas por correo
- Escribir programas y probarlos en la oficina para después transferirlos después al LOGO! instalado en el tablero de control.

3.7 Software LOGO!

El programa LOGO!Soft Comfort esta disponible como paquete de programación para el PC. Con el software dispondremos, entre otras, de las siguientes funciones:

- Elaboración offline grafica de nuestro programa como diagrama de escalera (LADDER) o como diagrama de bloque de funciones (esquema de funciones)
- Simulación de nuestro programa en el ordenador
- Generación e impresión de un esquema general del programa
- Almacenamiento de datos del programa en disco duro u otro soporte
- Comparación de programas
- Parametrización cómoda de los bloques
- Transferencia del programa
 - desde LOGO! al PC
 - del PC al LOGO!
- Lectura del contador de horas del funcionamiento
- Ajuste de la hora
- Ajuste de horario de verano e invierno
- Test online: indicación de estados y valores actuales de LOGO! en modo RUN:
 - estados de todas las entradas, salidas digitales, marcas, bits de registro de desplazamiento
 - valores de todas las entradas y salidas analógicas y marcas
 - resultados de todos los bloques
 - valores actuales (incluidos tiempos) de bloques seleccionados
 - iniciar y detener la ejecución del programa desde el PC (RUN, STOP).

Alternativa.

Con LOGO!Soft comfort también tendremos como una alternativa la planificación tradicional:

1. Primero podremos diseñar el programa en el escritorio.
2. A continuación podremos simular el programa en el ordenador y comprobar su funcionamiento antes de ponerlo en marcha.

3. Podremos comentar e imprimir el programa.
4. Podemos guardar los programas en sistema de archivos de nuestra PC
- 5.- Con unas cuantas pulsaciones de tecla podemos transferir el programa al LOGO! a través de un cable de comunicación.

CAPÍTULO

IV

**SITUACIÓN ACTUAL
DEL
SISTEMA DE CONTROL
DE
UN FRIGORIFICO
Y
SU NUEVA IMPLEMENTACIÓN**

CAPÍTULO 4.

SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN FRIGORIFICO Y SU NUEVA IMPLEMENTACIÓN

Introducción

En este capítulo vamos a explicar las necesidades de control que requiere un frigorífico, para la conservación de frutas y verduras y lo importante que es mantener las condiciones de clima controlado (temperatura y humedad) en los parámetros idóneos para la mejor conservación del producto a almacenar y así conservar sus propiedades alimenticias y su presentación el mayor tiempo posible para poderlo posicionar en el mercado en las mejores condiciones. A partir de este punto propondremos como una eficaz solución a los requerimientos de control la implementación de un PLC LOGO! de SIEMENS para sustituir a los tradicionales sistemas de control basados en lógica de relevadores.

Todo esto es con el fin de hacer más competitivas a las pequeñas y medianas empresas que se dedican a la distribución de frutas y verduras ofreciéndoles un sistema de control eficaz y al alcance de sus necesidades.

Almacenaje refrigerado

Han transcurrido más de 130 años desde que el australiano James Harrinson diseño y construyó el primer equipo de refrigeración efectivo y la primera planta productora de hielo del mundo. Más de 100 años atrás los embarques regulares de Australia a Inglaterra comenzaron con el transporte de carne de vacuno congelada que pronto fue seguido por la operación de las primeras bodegas refrigeradas mecánicamente para manzanas y peras. Desde entonces, las más modernas plantas de refrigeración existentes han cambiado muy poco en su diseño básico, por lo que de acuerdo a esta consideración. Su descripción se restringirá a las funciones mecánicas y nomenclatura del equipo.

4.1 Refrigeración por compresión de vapor saturado.

La refrigeración por compresión consiste en forzar mecánicamente la circulación de un fluido en un circuito cerrado creando zonas de alta y baja presión con el propósito de que el fluido absorba calor en un lugar y lo disipe en otro.

Una planta de refrigeración, consta de cuatro componentes básicos:

- Un compresor en el que el gas refrigerado, ya sea amoníaco o más frecuentemente una mezcla de hidrocarburos halogenados, es comprimido y calentado inevitablemente.
- El condensador, enfriado por aire o por agua, en que el gas comprimido y caliente es enfriado, condensado y convertido en líquido.
- Los serpentines de evaporación en donde el líquido se evapora y de ese modo absorbe el calor del medio que lo rodea.
- Sistema de control

En la figura 4.1 se muestra el diagrama básico de una planta refrigeración con sus diversos componentes que explicaremos brevemente en el apéndice A.3

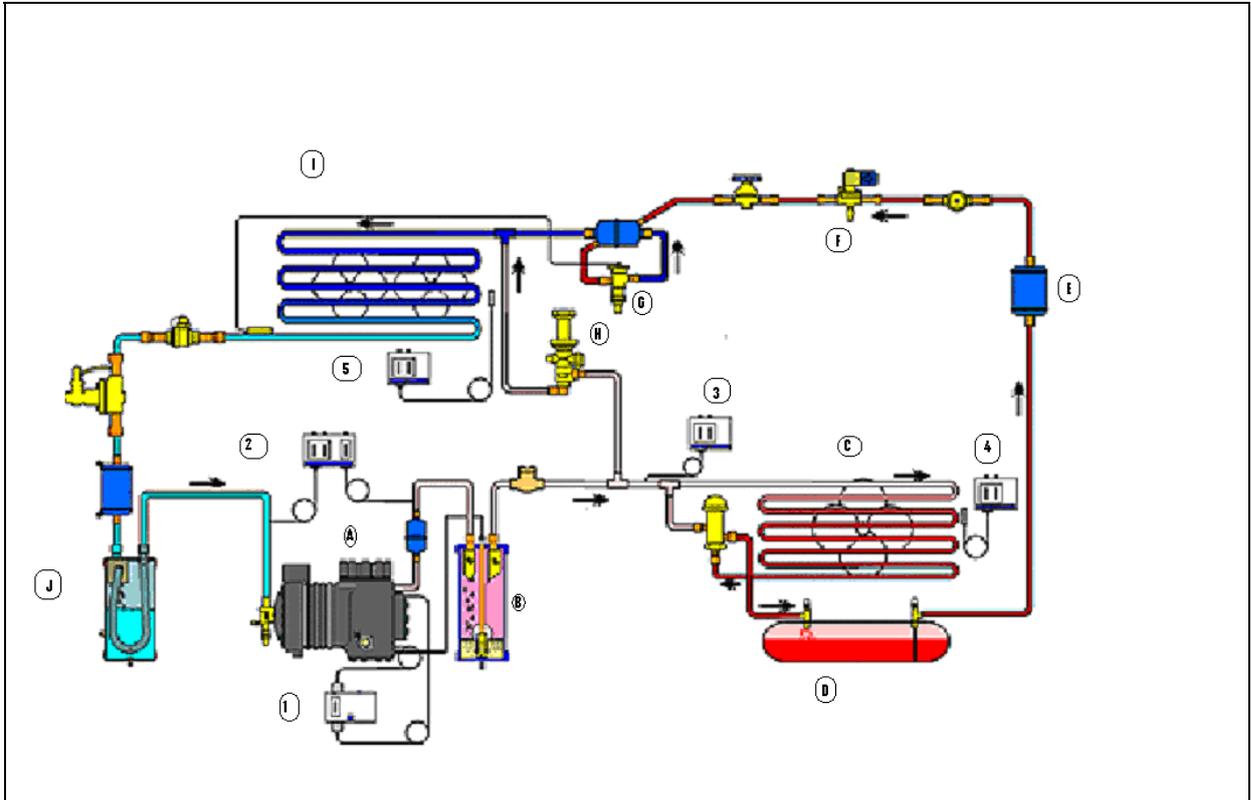


Fig. 4.1 Planta de refrigeración.

Normalmente se necesitan ventiladores para hacer circular el aire sobre los serpentines y a través de las estibas de productos en la bodega (Fig. 4.2) El compresor y el condensador siempre están fuera de la bodega, generalmente montados uno detrás de otro. La conexión entre las tres unidades se completa con cañerías de cobre. Para aumentar la eficiencia del evaporador se le colocan aletas metálicas para mejorar sus propiedades de intercambio de calor y el aire es forzado a pasar por medio de un ventilador eléctrico. La figura 4.3 muestra algunos sistemas típicos de refrigeración.



Fig. 4.2 Cámaras frigoríficas.

Las bodegas refrigeradas son de uso común para muchas frutas y hortalizas y demás productos perecederos. Aunque la tecnología del diseño y la infraestructura de la instalación de la refrigeración estén bien establecidas, es una triste realidad que muchas bodegas en los países en desarrollo funcionan sin ganancias a causa de numerosos problemas comunes. Los más notables de estos problemas son:

- Supervisión sin entrenamiento o sin motivación.
- Deterioro de la calidad del producto durante el almacenamiento.
- Elevado costo de energía.



Fig. 4.3 Equipos típicos de refrigeración.

4.1.2 Subutilización del espacio refrigerado.

Todos estos problemas pueden atribuirse directamente a una planificación y administración inadecuadas. La operación exitosa de las instalaciones de almacenamiento con frío depende de algunos conocimientos sobre costos, requerimientos específicos del producto, tecnología de refrigeración y mercadeo de los productos. Los costos de construcción y operación de las bodegas refrigeradas son altos y por lo tanto la inversión no debe decidirse hasta que se haya realizado un estudio completo de factibilidad.

Frecuentemente, las bodegas se mantienen en operación con un costo muy alto, cuando están casi vacías o cuando no se espera un incremento en el precio de venta del producto. Debe efectuarse una clara estimación de los productos que se proyecta almacenar, de cuáles son compatibles en la bodega, en función de temperaturas y humedades específicas y cuáles no, de la vida de almacenamiento que se espera de los diversos productos y de la aplicabilidad a la situación que se espera del mercado.

Con la implementación del PLC LOGO! y un sistema de refrigeración en paralelo se pretende mejorar el sistema de control, optimizando al máximo el funcionamiento del frigorífico, reduciendo los costos por consumo eléctrico y

prolongando lo más posible y en las mejores condiciones el producto almacenado.

4.1.3 Expectativas de almacenamiento del producto fresco

La tabla que se presenta en el apéndice A.4, se presenta una lista de la vida de almacenamiento esperada para productos frescos y las temperaturas y humedades específicas que deben mantenerse, a fin de que estas expectativas se cumplan. Se supone que el producto:

- Está limpio y libre de infecciones;
- Ha sido cosechado en el estado correcto de madurez;
- Está libre de daño físico;
- Se ha puesto bajo condiciones de almacenamiento tan pronto como es posible después de la cosecha;
- Ha sido preparado adecuadamente para el almacenamiento.

La falta de cumplimiento de estos requisitos dará lugar a una disminución de la vida esperada de almacenamiento. Para evitar contusiones, se supone que la vida de almacenamiento es el periodo máximo durante el cual el producto permanece apto para su mercadeo y no el periodo de envejecimiento total o deterioro. Los valores que se dan son únicamente a vía de ejemplo y de ninguna manera son exactos.

Almacenamiento refrigerado de larga duración.

Una vez que el producto ha sido enfriado a la temperatura requerida debe ser trasladado tan rápidamente como sea posible a una bodega diseñada específicamente para almacenamiento prolongado. Ocasionalmente esta bodega es la misma que se usa para el preenfriamiento, pero normalmente es una bodega independiente y mucho más grande.

Durante el almacenamiento prolongado es importante que el aire de la bodega circule bien, pero a baja velocidad, de manera que la transpiración y la pérdida de agua del producto se mantengan al mínimo. La temperatura de la bodega y por lo tanto del producto almacenado debe ser vigilada y mantenida cuidadosamente y lo mismo debe hacerse con la humedad relativa, la cual debe elevarse si fuera necesario, para este fin utilizaremos el PLC LOGO! como dispositivo de control . La ventilación es vital para impedir la acumulación de dióxido de carbono y etileno y la disminución del oxígeno hasta niveles perjudiciales.

Los productos deben estibarse de modo que no dificulten la circulación, ya que ello podría permitir la formación de áreas localizadas en donde se acumula el calor (focos de calor) lo que propicia el deterioro prematuro del producto. Además, esto permite la inspección periódica durante el almacenamiento y por lo tanto, la eliminación del producto infectado, sobremaduro o deteriorado, si fuera necesario.

4.2 Sistemas de refrigeración en paralelo

Tradicionalmente cuando se instalaba un sistema de refrigeración se hacía el cálculo de cargas térmicas totales y se instalaba un solo equipo que cubriera dichos requerimientos, el problema surge cuando por algún motivo la cámara de refrigeración no se encuentra llena a su máxima capacidad. Lo que sucede en este caso es el desperdicio de capacidad refrigerante del equipo lo que lleva también a un mal aprovechamiento de la energía eléctrica, además, de que conforme el producto va disminuyendo su temperatura el requerimiento de consumo de calor también disminuye.

En la actualidad esto está cambiado en lugar de utilizar un solo equipo se instalan dos o más compresores en paralelo (Figura 4.4) que en conjunto suman la capacidad de enfriamiento máxima requerida, al hacerlo de este modo podemos tener un mayor aprovechamiento del consumo de energía, ya que solo estarán trabajando los equipos necesarios conforme a la demanda, al disminuir la demanda de refrigeración los equipos saldrán de funcionamiento uno por uno y sólo trabajarán los que sean necesarios para mantener la temperatura al rango requerido, llevando a un ahorro de energía eléctrica y prolongando la vida útil de los equipos, otra gran ventaja de este tipo de instalación es que cuando un equipo llega a fallar y queda fuera de servicio, los demás siguen trabajando evitando pérdidas económicas provocadas por la pérdida total de refrigeración.



Fig. 4.4 Equipo de refrigeración con compresores en paralelo.

La desventaja de este sistema de control es que requiere de un mayor número de dispositivos de control (Presostatos, termostatos, relojes de deshielo) ya que cada compresor requiere su propio sistema de control para hacerlo independiente, lo que incrementa su costo económico, mayor número de cables y en caso de falla resulta más difícil detectarla.

Como solución a este problema de control se pretende sustituir la mayor parte de elementos electromecánicos por sensores electrónicos que alimenten de información al LOGO! que sustituirá virtualmente a estos elementos.

4.2.1 Control de un sistema de refrigeración en paralelo.

El sistema de control de un sistema de refrigeración con compresores en paralelo comprende los siguientes elementos, para cada uno de los compresores para que estos puedan trabajar independientemente:

- Termostatos.
- Presostato de baja presión
- Presostato de alta presión
- Reloj de deshielo
- Diferencial de presión de aceite
- Relevador On-Delay

Mientras más compresores tengamos trabajando en paralelo mayor será el número de controles a instalar y por lo tanto el costo económico del sistema de control también se verá incrementado, además de que al volverse más complejo el tablero de control, el encontrar una falla en el sistema se convertirá en una tarea más ardua, con la utilización de LOGO! pretendemos sustituirlos por sondas electrónicas y simularlos virtualmente lo que nos ahorrara cableado y costos económicos y en el caso de que en algún momento surja algún problema en el sistema, encontrar la falla y solucionarla se verá simplificada, ya que el LOGO! podrá desplegar en su display una alarma que nos indique el motivo de la falla en el sistema ahorrándonos tiempo y trabajo en solucionarla. El único elemento de control que no sustituiremos será el diferencial de presión de aceite ya que los fabricantes de los compresores exigen la instalación del control que ellos proveen para hacer valida la garantía del equipo. Con respecto al condensador utilizaremos un equipo enfriado por aire con dos o más motoventiladores, los cuales funcionarán de acuerdo a la demanda requerida para disminuir en lo más posible el uso de energía eléctrica, los motoventiladores sólo trabajarán cuando sea requerido, para gobernar el funcionamiento de éstos podemos elegir entre dos opciones un termostato o un presostato para cada uno de ellos, que al incrementar la temperatura o la presión del gas refrigerante activaran a los motoventiladores para mantener los rangos de presión y temperatura adecuados de funcionamiento (éstos varían dependiendo del gas refrigerante a utilizar) y cuando no sean requeridos, por ejemplo en días frescos o fríos solo trabajará uno de los motoventiladores o ninguno, lo cual representara un ahorro de energía eléctrica, pero al utilizar el LOGO! también podremos prescindir de ellos utilizando la misma señal de control que nos proporcione

el sensor de alta presión y simulando dichos controles a través del software. Para poder entender mejor el funcionamiento del sistema de control de un equipo en paralelo mostraremos sus diagramas de fuerza en la figura 4.5 y de escalera en la figura 4.6 y 4.7

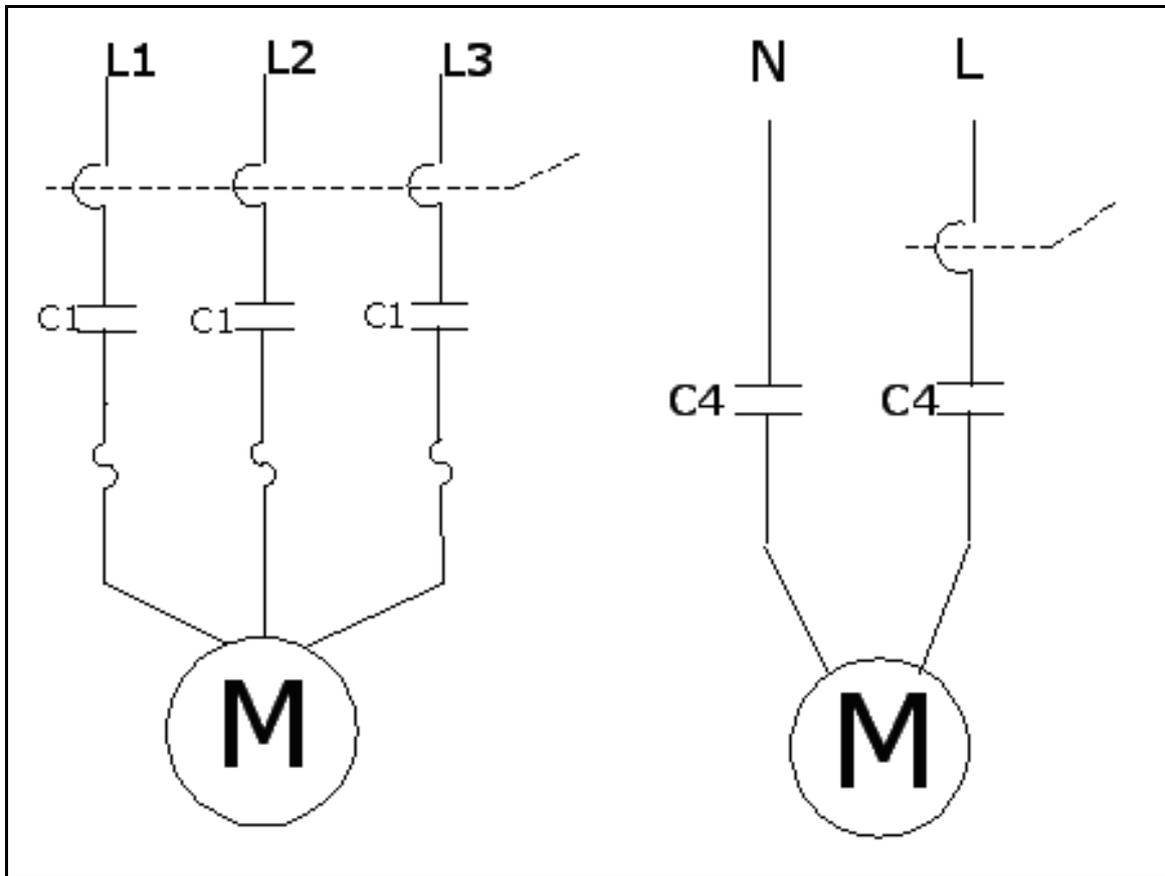


Fig. 4.5 Diagramas de Fuerza

En la figura 4.5 podemos apreciar dos diagramas de fuerza, el de la izquierda representa al de los motocompresores, que en el proyecto que propondremos serán cuatro, M1 a M4, conectados en paralelo a un condensador común que contará con cuatro motoventiladores, M5 a M8, que trabajaran independientemente, para los motoventiladores de los evaporadores (MD) también aplicará este último diagrama. En todos los casos utilizaremos motores de corriente alterna, para los motocompresores se usarán motores trifásicos (tipo jaula de ardilla) de 5 H.P de potencia, para los ventiladores del condensador utilizaremos motores monofásicos de fase partida con capacitor continuo de 1/3 de H.P y para los ventiladores de los evaporadores se instalaran motores (MD) de polos sombreados de 1/40 de H.P. Aunque los elementos de control de los diferentes motocompresores son los mismos (presostatos, termostatos, relojes de deshielo y relevadores de tiempo al arranque) cada uno de los motores tendrá sus propios parámetros de funcionamiento para poder lograr el máximo de eficiencia del equipo y un ahorro de energía eléctrica con el fin de reducir en lo más posible los costos de almacenamiento e incrementar el porcentaje de ganancia final durante la venta del producto almacenado sin descuidar su calidad.

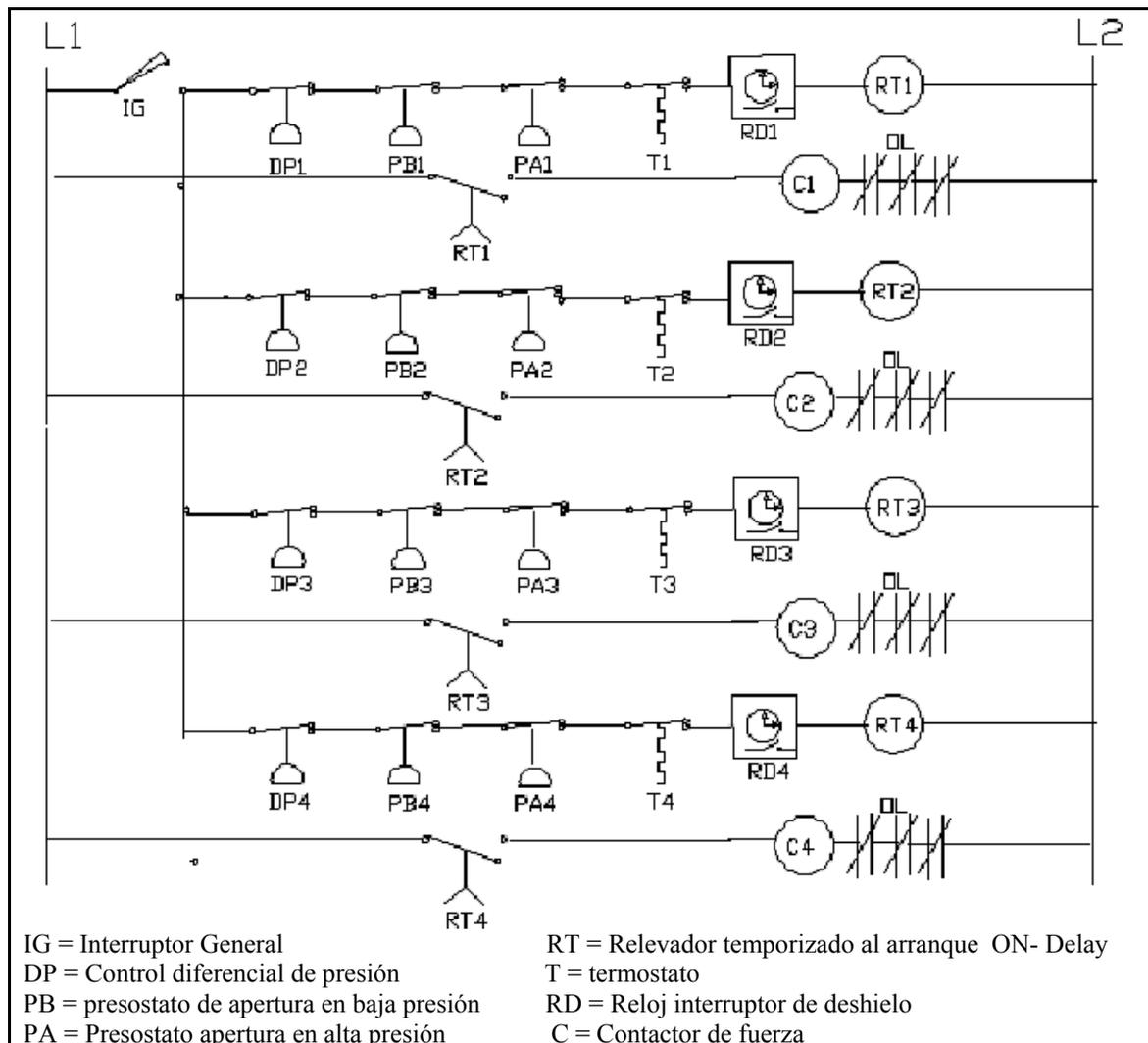


Fig. 4.6 Diagrama de control de los motocompresores.

En el diagrama de la figura 4.6 podemos observar la secuencia de control de un equipo de refrigeración que cuenta con cuatro motocompresores. El primer elemento de control que podemos observar es un interruptor general (IG) con el cual el operario del equipo pondrá en marcha o apagará el equipo cuando sea necesario, cada motocompresor contará con un control diferencial de presión (DP) que abrirá el circuito de control en el momento en que disminuya la diferencia de presiones entre el gas refrigerante y la bomba de lubricación evitando que este se dañe por una lubricación inadecuada, el siguiente dispositivo de control es un presostato de baja presión (PB) uno para cada motor, éste cortará el circuito de control en el caso que disminuya la presión de la línea de succión lo cual se puede dar por diferentes causas (pérdida de refrigerante, filtro deshidratador o válvula de expansión obstruidos) éste se calibrará de acuerdo al gas refrigerante a usar, para nuestro caso utilizaremos refrigerante freón-22 y se calibrará a una presión de corte de 20 P.S.I, a continuación tendremos también conectado en serie un presostato de corte en alta presión (PA) el cual abrirá el circuito de control cuando la presión de la línea de descarga o líquido (siempre son las mismas presiones) exceda los valores máximos recomendados (250 P.S.I para freón-22)

evitando que el motor eléctrico se dañe por sobrecarga y/o el plato de válvulas del compresor sufra también algún daño, el siguiente control será un termostato el cual estará censando la temperatura de frigorífico los termostatos (T) se calibrarán de acuerdo al producto a almacenar, por poner un ejemplo imaginemos que vamos a almacenar uvas que requieren una temperatura de conservación de 0° - 2° y con el propósito de ahorrar energía eléctrica todos los compresores trabajarán al inicio hasta alcanzar la temperatura deseada para que después sólo queden funcionando los que sean necesarios para mantenerla estable, debido a que el tiempo en que tardan en ganar calor de nuevo el aire y el producto almacenado son diferentes (el aire gana calor más rápido) podemos implementar un setpoint común pero un offset diferente para cada uno de los termostatos para lograr un ahorro de energía, sabiendo de antemano que el producto no corre ningún riesgo de elevar su temperatura en la tabla 4.1 se muestra esta calibración.

Termostatos	Temperatura De Apagado	Temperatura De encendido
T1	0° C	2° C
T2	0° C	3° C
T3	0° C	3.5° C
T4	0° C	4° C

Tabla 4.1 Temperaturas de encendido y apagado.

Una de las desventajas de los equipos de refrigeración es que condensan la humedad del medio ambiente y ésta se acumula en forma de hielo en los paneles de los evaporadores hasta el punto de obstruirlos completamente evitando la circulación del aire y un mal funcionamiento de la cámara frigorífica. Para solucionar este inconveniente se utilizan relojes interruptores de deshielo, con los cuales programaremos periodos de descanso para los compresores con el fin de evitar la acumulación excesiva de hielo en los evaporadores, además, que también podremos programar tiempos extras de descanso en los periodos en que la cámara de refrigeración se encuentre cerrada por tiempos prolongados en los que no hay un gran cambio en el equilibrio térmico del producto, por ejemplo en las noches lo cual incrementara el ahorro de energía eléctrica.

Los relevadores de tiempo ON-DELAY (RT) tienen dos propósitos básicos, el primero es evitar que los motocompresores arranquen al mismo tiempo evitando caídas de tensión excesivas y sobrecargas en el circuito eléctrico y segundo evitar que éstos arranquen inmediatamente después de una falla de corriente momentánea en el suministro eléctrico. Cuando esto sucede y el suministro de electricidad es reestablecido en un tiempo muy corto (menos de 5 minutos) las presiones en el sistema de refrigeración no se alcanzan a igualar, lo que provoca que los motores eléctricos se fueren demasiado llegando al punto en que se activen los elementos termomagnéticos, para evitar esto programaremos los relevadores de tiempo ON-DELAY como se muestra en la tabla 4.2

RELEVADOR DE TIEMPO	TIEMPO DE RETARDO AL ARRANQUE
RT1	7 MINUTOS
RT2	8 MINUTOS
RT3	9 MINUTOS
RT4	10 MINUTOS

Tabla 4.2

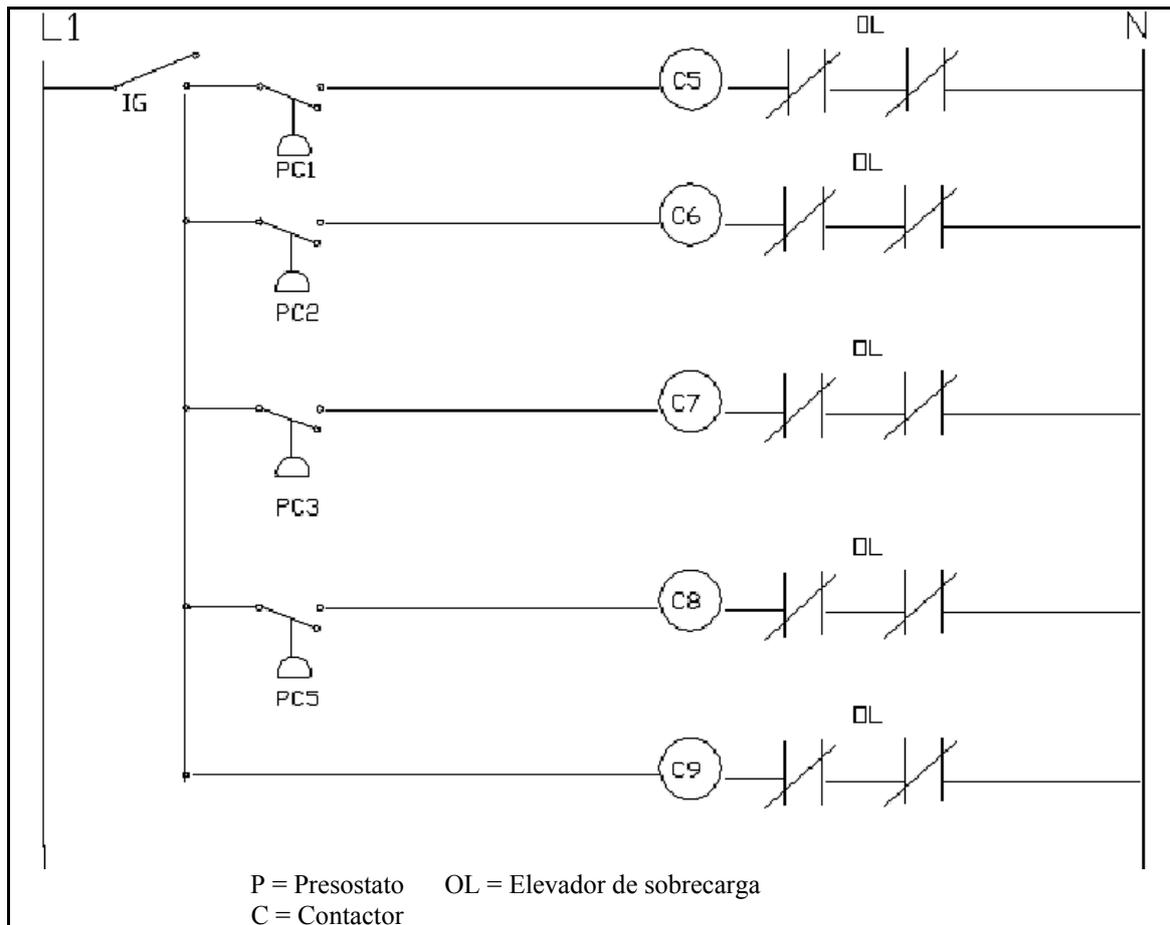


Fig. 4.7 Diagrama de control de los motoventiladores del condensador.

El diagrama de control de los motoventiladores es mucho más sencillo que el de los motocompresores, este solo cuenta con cuatro presostatos (PC) que activarán y desactivarán a los motoventiladores de acuerdo a la demanda requerida para lograr un máximo de ahorro de energía eléctrica solo trabajarán los motores que sean necesarios para mantener la presión del gas refrigerante dentro de los parámetros recomendados. La calibración de éstos se realizará como se muestra en la tabla 4.3

Presostatos	Presión De encendido	Presión De apagado
PC1	180 P.S.I	175 P.S.I
PC2	200 P.S.I	180 P.S.I
PC3	220 P.S.I	200 P.S.I
PC4	240 P.S.I	220 P.S.I

Tabla 4.3

4.3 Sistemas humidificadores.

¿Por qué humidificar en los almacenes frigoríficos?

La demanda del consumidor hace que sean disponibles productos frescos en cualquier época del año, en vez de solamente cuando sea la temporada. Además, la expectativa de una apariencia fresca y saludable de los productos ha llevado a cambios importantes en la manera de cosechar, envasar los alimentos para almacenamiento y en la manera de exponer los productos al cliente.

Algunos de los mayores cambios los propician los supermercados, que tienen que anticipar cuál será la demanda durante la semana y, especialmente, durante los fines de semana. El sector agrícola también ha experimentado muchos cambios a raíz de esto.

Los grandes agricultores han sustituido a los pequeños agricultores locales y ahora se importan productos de toda parte del mundo para satisfacer la demanda. Estos cultivos se tienen que cosechar, madurar, estar envasados y ser entregados de acuerdo a los requisitos de los supermercados. Generalmente, esto no se puede hacer en unas cuantas horas, así que los productos tienen que estar conservados en almacenes fríos para que conserven su calidad o madurar en salas de maduración especiales antes de la entrega. Es en esta fase que la humedad representa un factor importante para la calidad del producto.

Todos los productos alimentarios contienen agua

Todos los productos, ya sean carne, pescado, verduras y hortalizas o frutas, contienen grandes cantidades de agua, y cualquier pérdida de la misma afectaría el aspecto, y, por consiguiente, la calidad del producto. A menudo, las pérdidas importantes del contenido de humedad se dan en alguno de los muchos procesos de enfriamiento por los que deben atravesar el producto durante su procesamiento.

La humedad de un producto es de dos tipos: humedad retenida y humedad libre.

La humedad retenida generalmente está integrada en la estructura celular del producto. Por lo general, ésta no se desprenderá a no ser que se dañe la pared celular. La humedad libre, sin embargo, se desplazará en función de la humedad relativa del aire que rodea al producto.

Las leyes físicas no permiten que haya un desequilibrio de humedad en los casos en que un producto tenga una humedad relativa superior a otro que esté en el mismo medio ambiente. La humedad se desplazará de un área de humedad superior a un área de humedad inferior hasta que se logre el equilibrio, que es cuando no exista movimiento de humedad de un producto a otro. Esto se logra fácilmente cuando un producto se pone en un envase sellado, suponiendo que dicho envase sea impermeable, ya que el producto dará o quitará humedad del pequeño volumen de aire del envase hasta que se logre el

estado de equilibrio. No obstante, cuando se procesa un producto, éste no se encuentra en un medio ambiente sellado y, entonces, se pueden dar cambios con mucha facilidad.

¿Cómo se pierde agua?

Si un producto tiene que ser enfriado durante el procesamiento, por lo general queda expuesto al aire frío de una planta de enfriamiento. A menudo se olvida la psicometría (dinámica de humedad) de este proceso. Cuando pasa aire a través de una bobina de enfriamiento (para nuestro caso el evaporador), ya se trate de un sistema de agua enfriada o enfriamiento directo, el aire se enfría a una temperatura baja, que a menudo cae por debajo del punto de congelación del agua. En este momento, el agua del aire se condensa en la bobina. Mientras que el aire emanado del enfriador ahora se encuentra a la temperatura baja deseada y a una humedad muy elevada (generalmente el 100% de Hr), este aire se distribuye por el almacén y alrededor del producto y la temperatura se eleva cuando entra en contacto con dicho producto. A menudo se supone que, dado que el aire está a una humedad relativa del 100% cuando abandona el enfriador, el producto no sufrirá pérdidas, ya que el aire no puede mantener más humedad, así que no hay desequilibrio. No obstante, según se eleva la temperatura del aire, la humedad relativa baja.

Alrededor de cada producto hay una capa límite de aire. Generalmente, ésta tiene un espesor de 2 mm. Esta capa se encuentra en equilibrio con el producto en cuanto a la temperatura y la humedad. Si se enfría el producto, entonces este aire se encontrará a una temperatura más elevada que la temperatura de almacenamiento y cuando el aire frío del enfriador sopla alrededor del producto, se rompe esta capa limitante. La nueva capa limitante de aire frío recoge calor del producto y, al hacer esto, la humedad de esta nueva capa limitante baja debido a una ganancia sustancial de calor del producto

¿Cómo reducir al mínimo la pérdida de humedad?

Por lo general, la carne y las verduras tienen una humedad relativa de equilibrio del 95% al 98%. Cuando la temperatura del aire se eleva de, pongamos como ejemplo, 1 °C a 4 °C, la humedad relativa del aire bajará del 100% hasta alrededor del 78%. Dado que la humedad relativa de equilibrio del producto es superior a esto, el producto desprenderá humedad libre para restablecer el estado de equilibrio. Con una cantidad finita de humedad disponible del producto, no pasa mucho tiempo antes de que cambien las características físicas del producto, afectando la calidad, el peso y el aspecto. La humidificación controlada del aire en el almacén de enfriamiento reducirá al mínimo estas pérdidas, ya que resulta mucho más sencillo que la capa limitante absorba humedad del aire mismo, más que extraerla del producto.

Para asegurar que el producto se conserve en condiciones óptimas, es absolutamente necesario el diseño del sistema de humidificación. No es tan sencillo como rociar agua en el almacén. La humedad debe tener una forma que sea sencilla de absorber por parte del aire. Esto requiere un humidificador diseñado adecuadamente y aplicado correctamente. No sirve de mucho instalar un humidificador en el aire de descarga del enfriador cuando este aire ya sea probable que esté saturado, de manera

que no podría absorber más humedad. Así mismo, la distribución de humedad a través de la totalidad del almacén, también resulta crítico: No sirve de mucho introducir una gran cantidad de humedad en un área y esperar que se distribuya por todo el almacén. Hay muchos operarios de almacenes de enfriamiento que han causado daños a productos debido a sistemas de humidificación mal diseñados.

La aplicación de humidificadores no se limita exclusivamente a los almacenes de enfriamiento o refrigeradores. Los mercados comerciales y los numerosos almacenes de distribución modernos operados por los supermercados también se deben humidificar. No sirve de mucho producir y despachar productos de calidad de un almacén de enfriamiento si se van a dañar en el almacén de distribución.

Existe una amplia gama de humidificadores (vapor, atomización y evaporación) para satisfacer los requisitos exactos de las aplicaciones de almacenamiento en frío, por ejemplo, el sistema por atomización, figura 4.8, éste es un humidificador de espumas pulverizadoras de bajo consumo, con costes de funcionamiento reducidos y labores mínimas de mantenimiento, que utiliza aire comprimido para garantizar gotas finas que se evaporan rápidamente, para proporcionar la humedad relativa requerida. Este resulta idóneo para muchas aplicaciones de almacenamiento en frío y ayudan así a mantener la rentabilidad de una industria exigente al prevenir la pérdida de humedad, proteger la calidad y peso del producto y reducir los desperdicios.

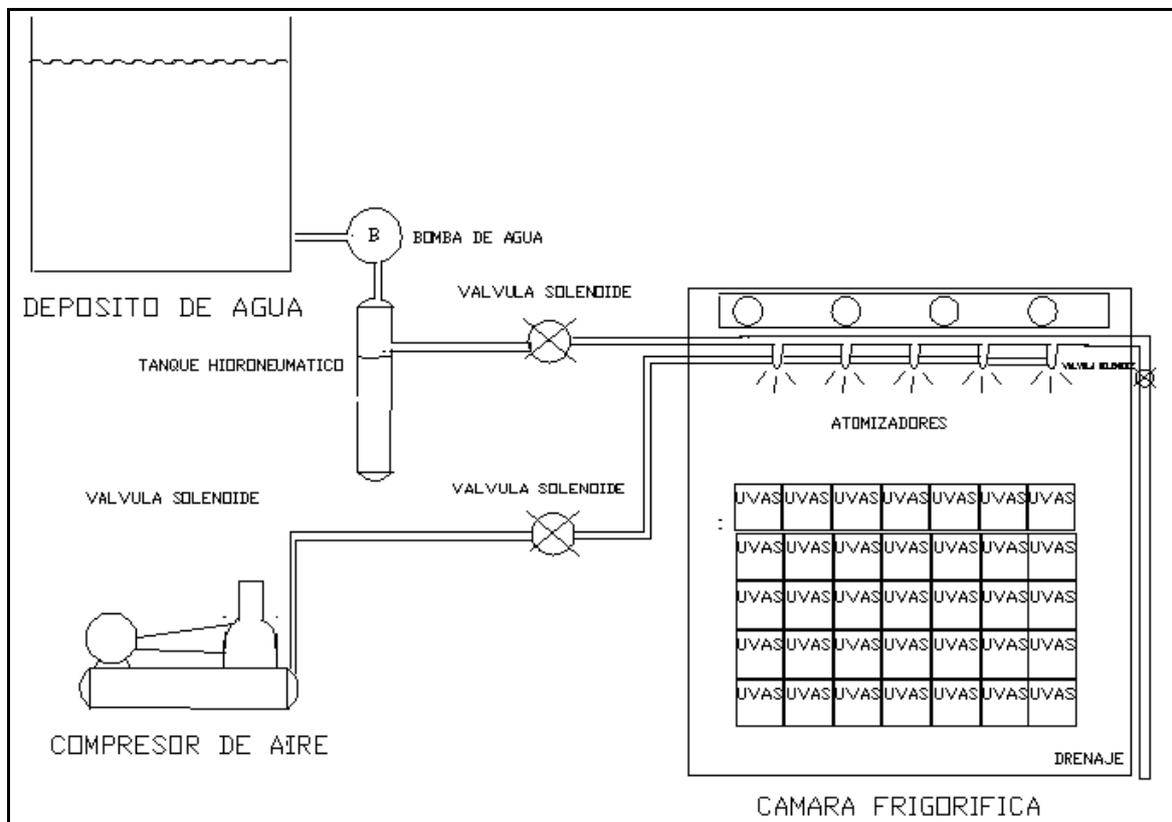


Fig. 4.8 Sistema humidificador por aspersión

4.3.1 Control de un sistema humidificador por aspersión.

El sistema de control de un sistema de humidificación por aspersión requiere de varios elementos de control para lograr una evaporación máxima del agua a una distancia mínima para poder elevar la humedad relativa del medio ambiente o climatizar sin mojar el producto almacenado, para lograr esto debemos de contar con la presión de aire y agua adecuados espreas de calibres de solo algunos μm , además, debemos de contar con un elemento que sense continuamente los niveles de humedad y nos permita mantenerlos en los niveles deseados, para esto nos auxiliaremos de los siguientes dispositivos:

- Humidostato.
- Presostato de presión del agua
- Presostato de presión del aire
- Válvula Solenoide del paso de aire
- Válvula solenoide le paso de agua
- Relevadores de tiempo (OFF-DELAY)
- Bomba de agua
- Compresor de aire

Este sistema utiliza aire y agua a presión para producir aspersiones de pulverización fina que se evaporan rápidamente elevando la humedad relativa al nivel deseado. La presión y regulación del flujo se controlan a través de un humidostato y de los presostatos haciendo a este sistema totalmente automático.

Cuando la humedad relativa desciende por debajo del nivel predeterminado, la válvula solenoide del aire se abre en respuesta a una demanda de humedad. Cuando la presión del aire se encuentra en un nivel suficiente para producir aspersión, un presostato activa la válvula solenoide del agua, permitiendo que esta fluya hasta las espreas. Consecuentemente el agua, no puede fluir sin la presión adecuada. Las válvulas del aire y agua se cierran cuando se a obtenido el nivel deseado de humedad relativa, evitando que fluyan a las espreas aire y agua. Siempre que se apaga el sistema, la presión de la tubería del agua se libera inmediatamente a través de la tubería del drenaje al tiempo que el aire comprimido sigue fluyendo a las espreas. Esto permite que las válvulas de las espreas se cierren limpiamente evitando los goteos. En la figura 4.9 podemos observar el diagrama de control de este sistema que comprende, un equipo hidroneumático, una bomba de agua, un compresor de aire y las válvulas solenoides.

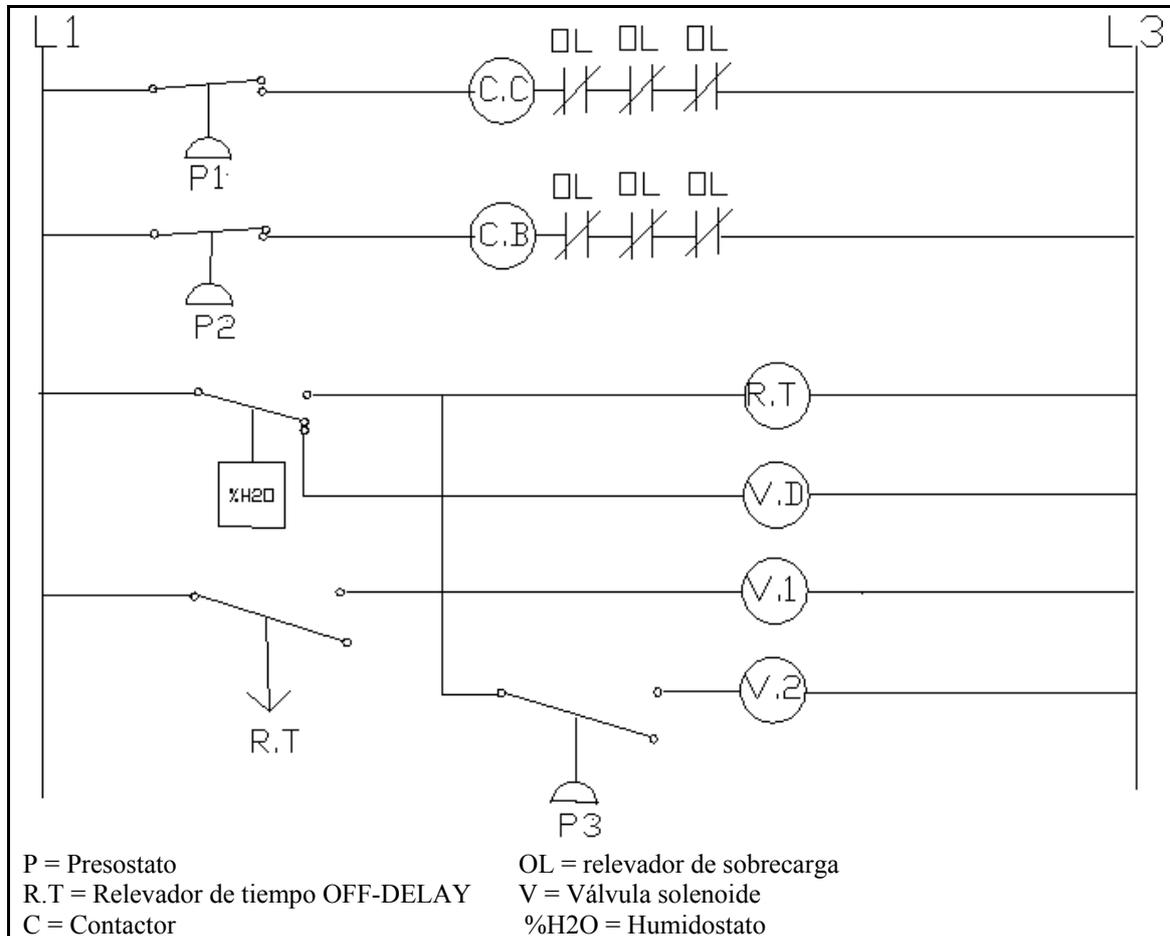


Fig. 4.9 Diagrama de control de un sistema de humidificación por aspersión.

En la figura 4.9, podemos observar el diagrama de control de un equipo humidificador por aspersión, en el primer escalón encontramos un presostato (P1) que tiene la función de sensar y controlar la presión del aire para mantenerla en los rangos de trabajo adecuados (65 P.S.I mínimo y 145 P.S.I máximo) Encendiendo y apagando el compresor (C.C) según sea requerido. En el segundo escalón se encuentra también un presostato (P2) pero éste sensará y controlará la presión del agua (58 P.S.I mínimo y 100 P.S.I máximo) controlando la bomba de agua (C.B) que alimenta al tanque hidroneumático con el fin de mantener en todo momento la presión requerida para una eficiente atomización del agua y, por consiguiente, una rápida evaporación y absorción de ésta en el medio ambiente a humidificar, los valores máximos y mínimos de las presiones requeridas se consultaron con fabricantes especializados en el diseño de estos equipos.

El siguiente dispositivo de control es un humidostato (%H2O) que activa y desactiva las válvulas solenoides del agua, aire y drenaje. Cuando en nivel de humedad relativa desciende por debajo del valor establecido la válvula del drenaje (V.D) se cierra

y las válvulas del aire (V.1) y el agua (V.2) se abren, la válvula del agua solo abrirá cuando exista una presión de aire adecuada (65 P.S.I como mínimo) la cual será sensada a través de un presostato (P3) Cuando la humedad relativa se encuentre de nuevo en el valor deseado se cerrará primero la válvula del agua y abrirá inmediatamente la válvula del drenaje para desalojar el sobrante de agua que haya quedado en la tubería para evitar los molestos goteos, la válvula del aire cerrará unos instantes después a través del relevador de tiempo OFF-DELAY (R.T) que retrasará el tiempo de desconexión de ésta para purgar perfectamente las espreas y tubería.

4.4 Implementación del PLC LOGO! Siemens para el control de un frigorífico.

Como hemos visto hasta el momento, un frigorífico requiere diversos dispositivos de control para poder mantener las condiciones adecuadas de temperatura y humedad, comúnmente estos elementos son dispositivos electromecánicos, los cuales producen vibraciones, flameo entre platinos etc.; lo cual nos lleva a un desgaste mecánico reduciendo su vida útil, a diferencia de un PLC, el cual utiliza elementos del tipo sólido, además, de que al utilizar un PLC podemos reducir el número de controles electromecánicos, al sustituirlos virtualmente, solucionar fallas más rápido con la ayuda de las alarmas que se pueden desplegar en su display, entre otras muchas ventajas. Además, de poder controlar las funciones comunes de una cámara frigorífica, se puede implementar el uso del mismo PLC para resolver otros problemas de control, como el del sistema humidificador y en lugar de tener dos sistemas de control solo tendríamos uno lo que nos ahorra, tiempo de instalación, cableado eléctrico, y espacio en los gabinetes eléctricos lo que nos lleva a menores costos económicos.

Para programar el PLC LOGO! Siemens, utilizaremos el software Logo Soft Comfort versión 5 y sustituiremos los diferentes elementos de control por sensores electrónicos y actuadores virtuales. Los primeros dispositivos que vamos a reemplazar van a ser los presostatos, para esto utilizaremos transductores de presión a corriente eléctrica y un conmutador analógico de valor de umbral que realizará la función de control, mostrados en la figura 4.10 En lugar de usar presostatos de baja presión, cuatro de alta presión, cuatro para el funcionamiento de los motoventiladores del condensador, dos para la presión del aire del sistema humidificador y uno para la presión del agua sólo utilizaremos cuatro transductores de presión.



Fig. 4.10 Presostato izquierda, transductor de presión centro y conmutador analógico de valor de umbral derecha.

Los termostatos y el humidostato serán remplazados por un solo sensor transductor de temperatura-humedad a corriente-voltaje y para la función de control también utilizaremos un conmutador analógico de valor de umbral, de esta forma reduciremos de cinco elementos de sensado y control a solamente uno, simplificando nuestro sistema de control con todos los beneficios que esto implica. En la figura 4.11 ilustramos estos elementos.





Fig. 4.11 Controles de temperatura y humedad.

Los interruptores horarios (relojes de deshielo) se eliminarán y se sustituirán virtualmente por temporizadores semanales, en el caso de los relevadores de retardo al arranque (On-Delay) y los relevadores de retardo al paro (Off-delay) haremos lo mismo, también se sustituirán virtualmente por temporizadores de retardo al arranque y al apagado lo cual nos ahorrará cableado, espacio en el tablero de control y un ahorro en costos económicos. Algunos se pueden ver en la figura 4.12

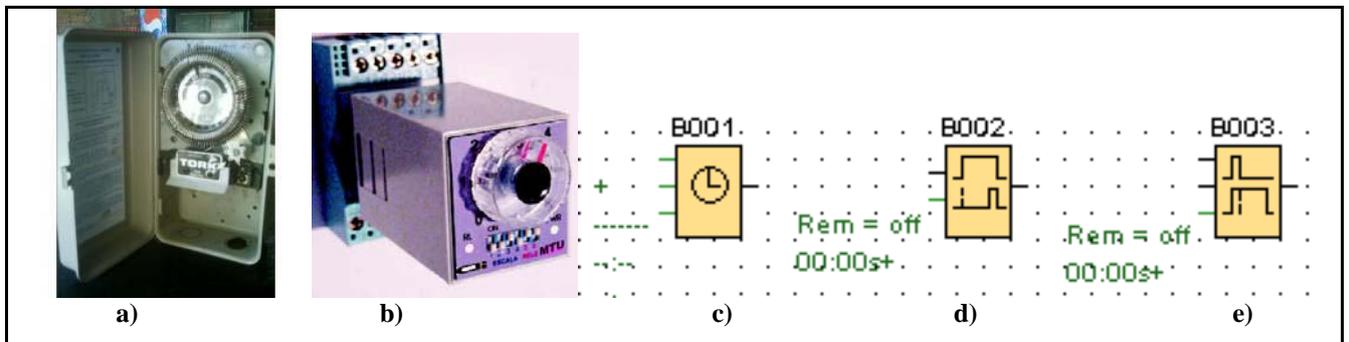


Fig. 4.12 a) Interruptor horario b) Relevador de tiempo c) Temporizador semanal d) Temporizador de arranque e) Temporizador de apagado

4.4.1 Programación del PLC LOGO! Siemens para el control de un frigorífico.

El primer paso es abrir un proyecto nuevo desde la barra de herramientas del software LOGO! Soft Comfort versión 5, pulsando en el icono de proyecto nuevo que se encuentra en el extremo izquierdo de dicha barra, inmediatamente se abrirá una venta donde introduciremos los datos del proyecto (autor, nombre del proyecto, nombre de la instalación, cliente, numero de diagrama compañía), en esta misma ventana a través de otra pestaña (parámetros) introduciremos la contraseña que protegerá al programa de cualquier edición no autorizada como se muestra en la figura 4.13.

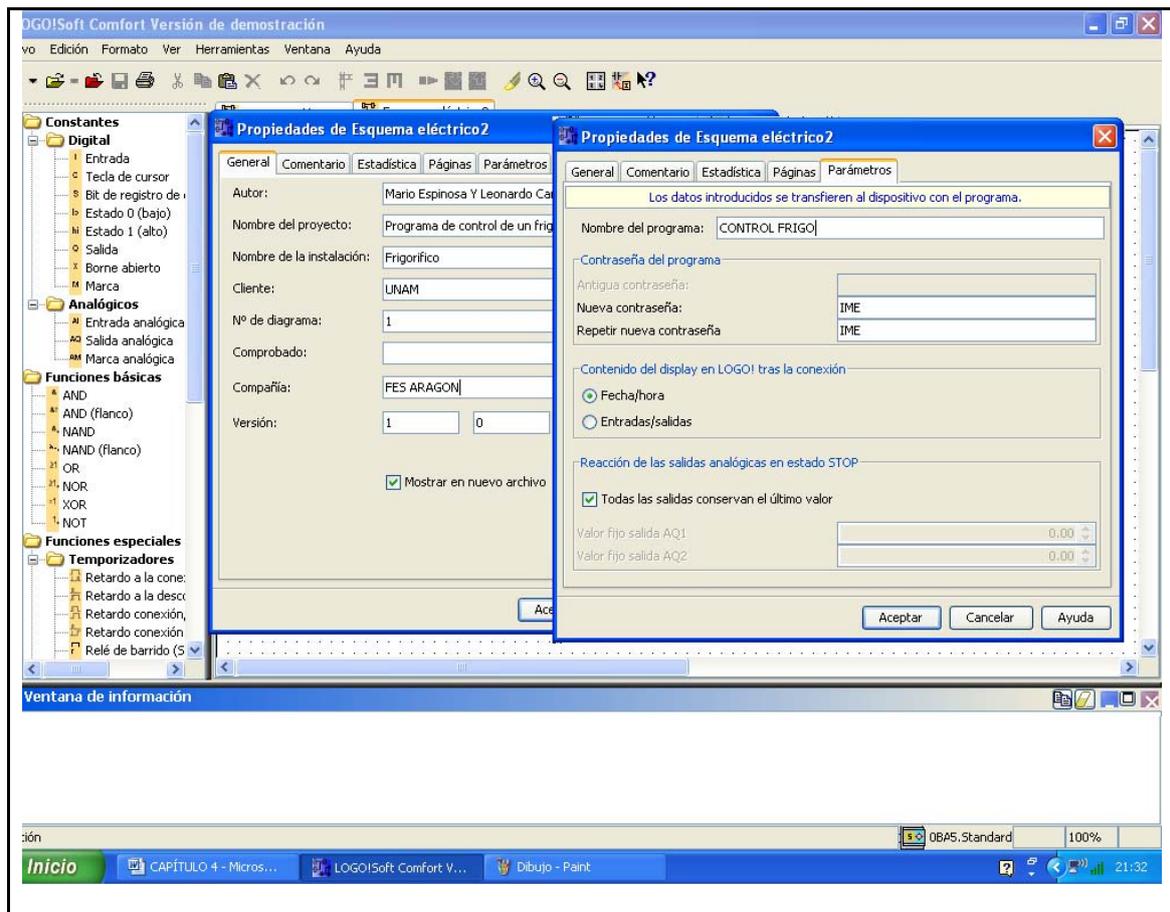


Fig. 4.13 Pantalla de trabajo de LOGO! Soft Comfort 5

Una vez creado el nuevo proyecto podemos iniciar con el diseño de nuestro circuito de control, para esto contamos con dos opciones a elegir podemos diseñarlo como diagrama de escalera (KOP) o diagrama de funciones (FUP), por default el programa se iniciará en modo FUP y si deseamos cambiar a KOP debemos entrar en el menú de archivo y desde ahí realizar el cambio, podemos cambiar el modo de presentación de nuestro diagrama de control las veces que queramos sin que esto afecte al diseño de nuestro programa de control.

En esta ocasión optaremos por el modo FUP, lo primero que tenemos que hacer es seleccionar las entradas de señales que vamos a utilizar, para esto contamos con dos opciones a elegir, entradas digitales (hasta 24) y entradas analógicas (hasta 8), para nuestro diseño utilizaremos 6 entradas analógicas.

Entradas analógicas

Las variantes de LOGO! con las designaciones 12/24RC, 12/24RCo y 24, así como el módulo de ampliación AM2 12/24, procesan señales analógicas. Mediante parametrización de bloques, puede asignar una "pinza" de entrada diferente a un bloque

de entrada determinado. Por tanto, sólo se tendrán en cuenta aquellas entradas seleccionadas que no se hayan definido en el programa.

Estas entradas se van encontrar en la barra de bloques la cual se encuentra en el extremo izquierdo de la pantalla, ahí abriremos la carpeta “Analógicos” y seleccionaremos dando un pulso doble al bloque de entrada analógica y con el cursor seleccionaremos el lugar donde deseamos colocarla dentro del área de trabajo y volveremos a dar un doble pulso para posicionarla, si deseamos podemos agregar un comentario el cual nos indique con mas precisión el tipo de señal o sensor que vamos a conectar a las entradas, esto lo haremos dando un doble pulso sobre el bloque de entrada deseado y seleccionando el menú de comentario en la ventana que se abrirá, como se muestra en la figura 4.14; el número de entrada lo asignará el programa automáticamente en forma ascendente y nosotros determinaremos a que señal de sensado corresponderá cada una, en nuestro caso esta asignación será la siguiente:

- A/1 Transductor de baja presión
- A/2 Transductor de alta presión
- A/3 Transductor de temperatura
- A/4 transductor de presión de aire
- A/5 Transductor de presión de agua
- A/6 Transductor de Humedad relativa H2O%

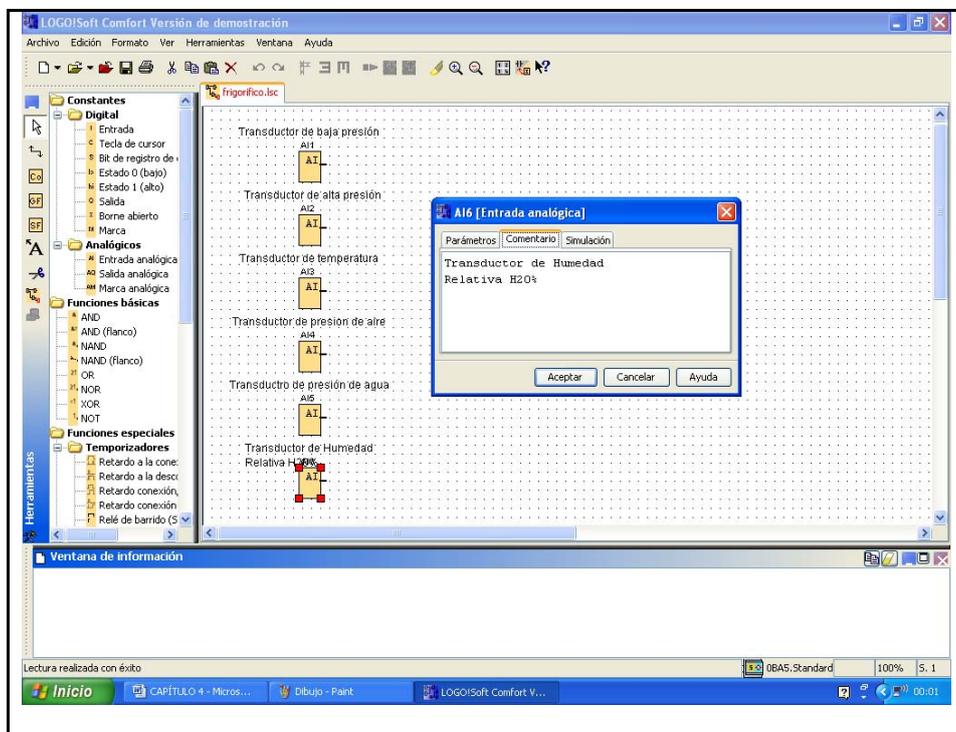


Fig. 4.14 Selección de entradas a utilizar

Amplificador analógico

Esta función especial amplifica un valor situado en una entrada analógica y lo emite en la salida analógica. Como se puede ver en la tabla 4.4

Conexión	Descripción
Entrada Ax	En la entrada Ax coloca la señal analógica que desea amplificar. Utilice las entradas analógicas AI1...AI8, las marcas analógicas AM1...AM6, los números de bloque de una función con salida analógica o las salidas analógicas AQ1 y AQ2. AI1..AI8: 0-10 V equivale a 0-1000 (valor interno).
Parámetros	A: Ganancia (Gain) Margen de valores: +- 10,00 B: Desplazamiento de punto cero (Offset) Margen de valores: +- 10.000 p: Número de posiciones tras la coma Margen de valores: 0, 1, 2, 3
Salida AQ	Salida analógica Margen de valores para AQ: -32768...+32767

Tabla 4.4

Parámetros p (número de posiciones tras la coma) y On, Off

Sólo es aplicable para la representación del valor Ax y Ay en un texto de aviso.

No es aplicable para la comparación con valores On y Off (El punto representado se ignora en la comparación.)

Descripción del funcionamiento

La función lee el valor analógico de la señal existente en la entrada analógica Ax anliegt.

Ese valor se multiplica con el parámetro A (Gain) El parámetro B (Offset) se suma entonces al valor analógico, es decir:

$$(Ax * Gain) + Offset = \text{valor actual Ax.}$$

El valor actual Ax se emite en la salida AQ.

Después de seleccionar las entradas analógicas que vamos a ocupar deberemos conectar a cada una de ellas un amplificador analógico. El cual condicionará la señal

proveniente de los sensores y si fuera necesario podrá amplificarla, este bloque se encuentra en la carpeta de funciones especiales dentro de una subcarpeta llamada analógicos, desde ahí seleccionaremos esta función, para parametrizarla, sólo tendremos que dar un doble pulso sobre el bloque que deseamos parametrizar (aplica para todos los bloques) en este caso los valores a parametrizar serán los tipos y rangos de señales que nos entreguen los transductores en forma voltaje: de 0 VDC a 10 VDC; corriente: de 0 A a 20 mA y 4 mA a 20 mA y sondas PT100, podemos programar una ganancia a nuestra señal en caso de ser necesario. Ya que parametrizamos los amplificadores procederemos a conectar las entradas analógicas con los amplificadores analógicos, para lo cual seleccionaremos la función conectar, con “F5”, y posicionaremos el cursor en el borne de conexión de alguno de los bloques y dejaremos presionado el botón izquierdo del “ratón” y dibujaremos la línea de conexión hasta el borne del otro bloque, esto se repetirá en todos los casos, sólo hay que recordar que nunca podremos conectar la salida de un bloque a la salida de otro bloque, como se muestra en la figura 4.15.

Para poder saber que tipo de señal y rango necesitamos utilizar, deberemos de consultar la hoja de datos técnicos de transductores, para nuestro proyecto los tipos de señal y rangos a emplear serán los que se muestran en la tabla del apéndice A.4 según datos consultados en las mismas.

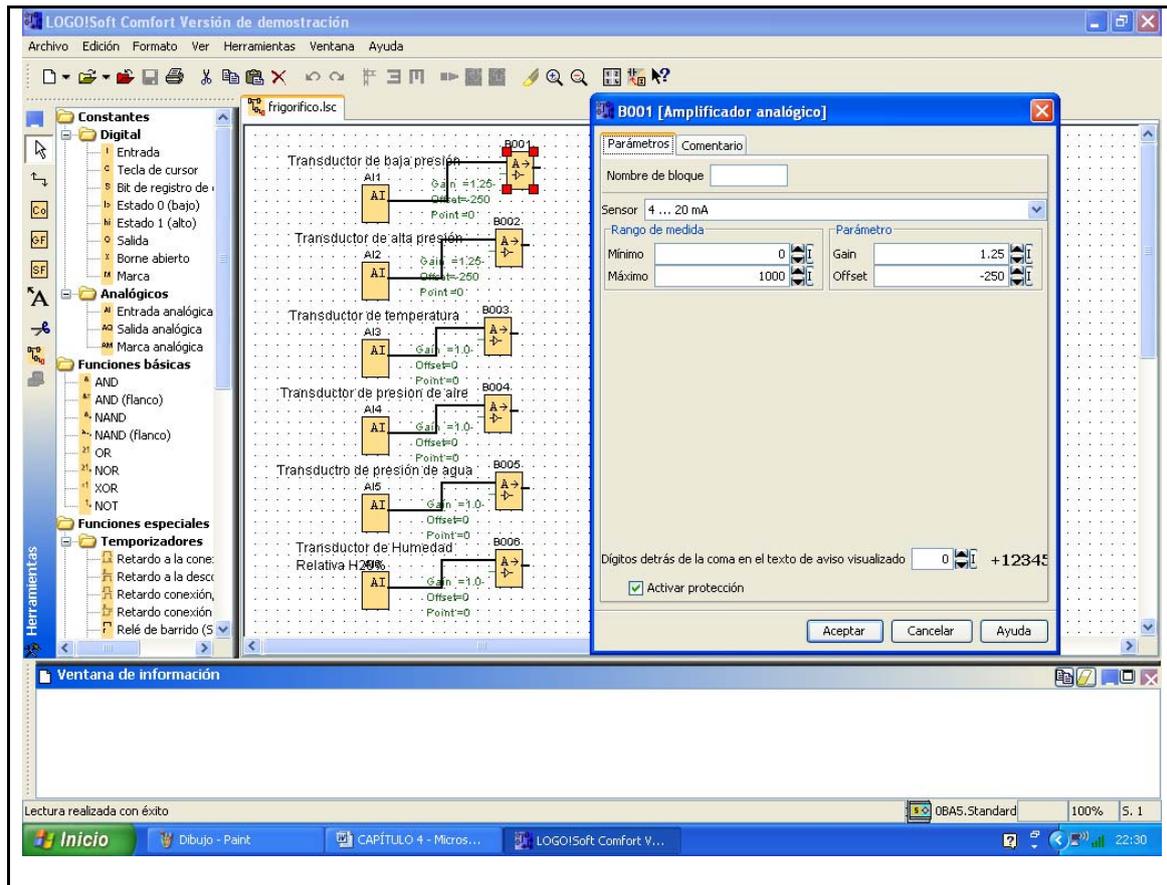


Fig. 4.15 Conexión y parametrización de los amplificadores analógicos.

Conmutador analógico de valor de umbral

La salida se conecta y desconecta en función de dos valores umbral (histéresis) Según se observa en la tabla 4.6

Conexión	Descripción
Entrada Ax	En la entrada Ax se coloca la señal analógica que se debe evaluar. Utilice las entradas analógicas AI1...AI8, las marcas analógicas AM1...AM6, los números de bloque de una función con salida analógica o las salidas analógicas AQ1 y AQ2. AI1..AI8: 0-10 V equivale a 0-1000 (valor interno).
Parámetros	A: Ganancia (Gain) Margen de valores: +- 10,00 B: Desplazamiento de punto cero (Offset) Margen de valores: +- 10.000 On: Valor umbral de conexión Margen de valores: +- 20.000 Off: Valor umbral de desconexión Margen de valores: +- 20.000 p: Número de posiciones tras la coma Margen de valores: 0, 1, 2, 3
Salida Q	Q se activa o se pone a cero en función de los valores de umbral.

Tabla 4.6

Parámetro p (número de posiciones tras la coma)

Sólo es válido para la representación de los valores On, Off y Ax en un texto de aviso.

¡No es válido para la comparación con valores On y Off! (El punto representado se ignora en la comparación.)

Descripción de la función

La función lee el valor analógico de la señal presente en la entrada analógica Ax.

Este parámetro se multiplica con el parámetro A (Gain). El parámetro B (Offset) se suma entonces al valor analógico, es decir

$$(Ax * Gain) + Offset = \text{valor actual Ax.}$$

La salida Q se activa o reinicia en función de los valores umbral determinados.

Vea la siguiente norma de cálculo.

Norma de cálculo

- Si valor umbral de conexión (On) \geq valor umbral de desconexión (Off), rige:
 $Q = 1$, si valor actual Ax $>$ On
 $Q = 0$, si valor actual Ax \leq Off.
- Si valor umbral de conexión (On) $<$ valor umbral de desconexión (Off), rige $Q = 1$, si: On \leq valor actual Ax $<$ Off.

El siguiente paso es insertar, conectar y parametrizar los conmutadores analógicos de valor de umbral los cuales efectuarán la función de conexión y desconexión de los diferentes elementos del equipo de refrigeración y humidificación como se muestra en la figura 4.16. El primer valor a parametrizar va a ser el de tipo y rango de señal que nos entrega cada transductor y después los valores de umbral de trabajo (ON-OFF), para esto tendremos que auxiliarnos de los datos de funcionamiento que nos proporcionan los fabricantes de los diversos transductores (tabla 4.5) Hay que tomar en cuenta que el LOGO! sólo procesa valores enteros, en el caso que necesitemos utilizar valores con decimales le daremos la instrucción de los decimales que vamos a utilizar a través de la ventana de parametrización y escribiremos nuestros valores sin el punto decimal, por ejemplo si el valor a parametrizar es 9.43 mA lo introduciremos sin el punto decimal 943 . Los datos proporcionados corresponden a los valores mínimos y máximos de funcionamiento, los valores intermedios los podemos calcular utilizando una regla de tres, ya que todos los transductores que utilizaremos son lineales, en el caso de los transductores de presión los valores proporcionados por el fabricante están en bar y los valores de presión que estamos utilizando están en P.S.I para este caso solamente tendremos que realizar una conversión de unidades. Los parámetros de funcionamiento que utilizaremos serán los que hemos manejado hasta ahora. Los parámetros de funcionamiento de los diferentes conmutadores analógicos de valor de umbral se presentan en la tabla del apéndice A.6

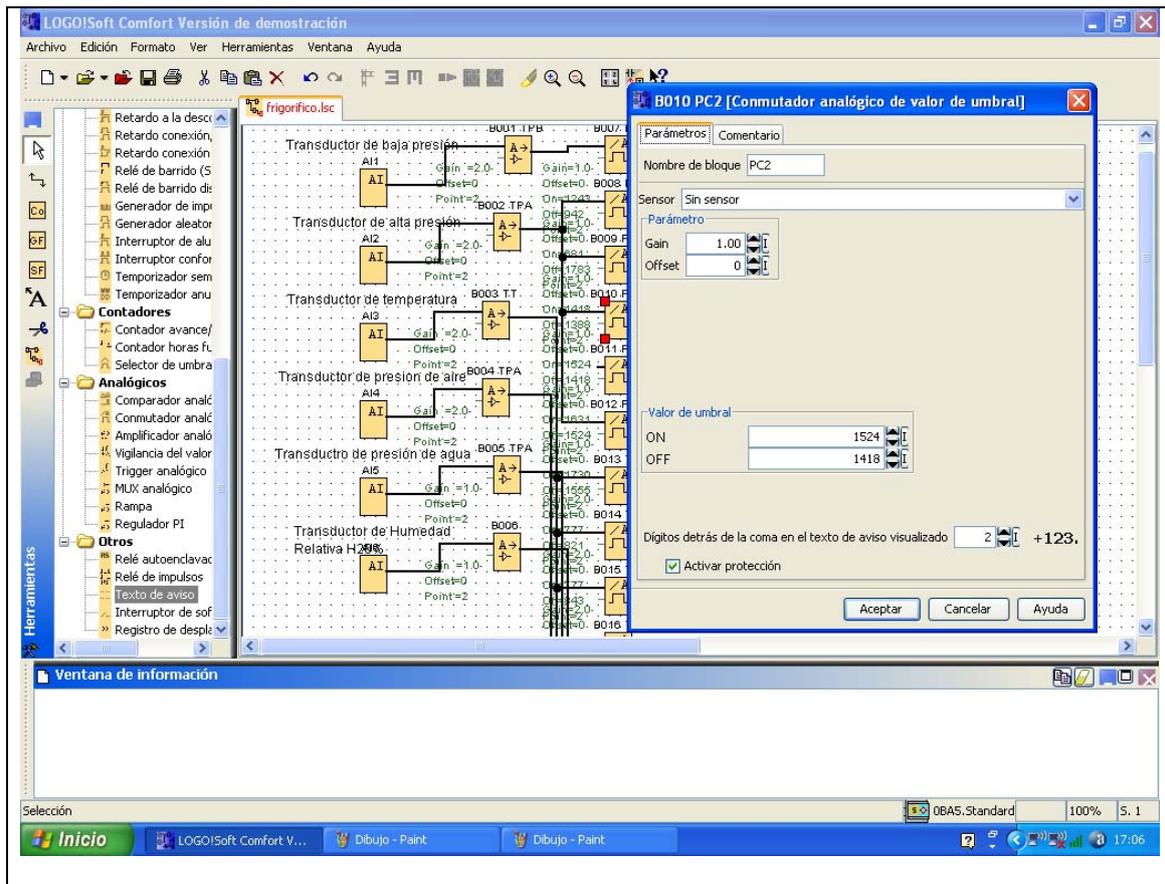


Fig. 4.16 Conexión y parametrización de los conmutadores analógicos de valor de umbral.

Texto de aviso

Visualización de textos de aviso parametrizados y de parámetros de otros bloques en modo RUN, según se observa en la tabla 4.8

Conexión	Descripción
Entrada En	Un cambio del estado 0 a 1 en la entrada En (Enable) inicia la edición del texto de aviso.
Entrada P	P es prioridad del texto de aviso. 0 es la prioridad más baja y 30 la más alta. Quit: acuse del texto del aviso
Parámetros	Text: Introducción del texto del aviso Par: Parámetro valor actual de otra función ya programada (vea "Parámetros representables o valores actuales") Time: se indica la hora actual actualizada continuamente Date: se indica la fecha actual actualizada continuamente EnTime: se indica la hora del cambio de estado de En de 0 a 1 EnDate: se indica la fecha del cambio de estado de En de 0 a 1
Salida Q	Q permanece activo mientras se visualiza el texto de aviso.

Tabla 4.8

Descripción de la función

Si el estado en la entrada (En) cambia de 0 a 1, aparecerá en la pantalla, en modo RUN el texto de aviso que haya configurado (valor actual, texto, hora, fecha).

Acuse desactivado (Quit = Off):

Si el estado de la entrada (En) cambia de 1 a 0, el texto de aviso desaparece.

Acuse activado (Quit = On):

Si el estado de la entrada (En) cambia de 1 a 0, el texto de aviso permanecerá en la pantalla hasta que sea acusado con la tecla OK. Mientras (En) tenga el estado 1, el texto de aviso no podrá acusarse.

Si con En = 1 se ha activado varias funciones de texto de aviso, se muestra el texto de aviso con la prioridad más alta (0 = más baja, 30 = más alta) Eso implica que un texto de aviso que se activa sólo puede visualizarse si su prioridad es mayor que la de los textos activados hasta entonces.

Si un texto de aviso se ha desactivado o acusado, siempre se muestra automáticamente el texto de aviso con la mayor prioridad activado hasta ahora.

Puede cambiarse entre la visualización en modo RUN y los textos de aviso con las teclas ▼ y ▲

Restricción

El máximo de funciones de texto de aviso está limitado a 10.

Descripción breve

En la tabla 4.9 se puede observar la visualización del texto de aviso configurado en modo Run.

Conexión	Descripción
Entrada En	Un cambio del estado 0 a 1 en la entrada En (Enable) inicia la edición del texto de aviso.
Parámetro P	P es prioridad del texto de aviso. 0 es la prioridad más baja y 9 la más alta.
Parámetros	Par: Parámetro valor actual de otra función ya programada (vea "Parámetros representables o valores actuales")
Salida Q	Q permanece activo mientras se visualiza el texto de aviso.

Tabla 4.9

Particularidades de la configuración

Las propiedades del bloque permiten configurar el texto de aviso. Por cada texto puede introducirse hasta 4 líneas (en el LOGO! se visualizan 4 líneas) y puede definirse la prioridad del texto. Durante la introducción del texto es importante recordar que es posible saltar a la siguiente línea con las teclas de dirección o con el ratón. Con

[ENTRAR] se aplican todas las propiedades del bloque y se cierra el menú de propiedades del bloque.

En las líneas del texto también pueden adoptarse valores actuales de otros bloques. Para ello debe marcar el bloque deseado en la ventana Bloque. En la ventana Parámetros se relacionan todos los parámetros disponibles para el bloque seleccionado. Al seleccionar un parámetro de la ventana Parámetros, éste se inserta en la línea de texto seleccionada. Al abrir el texto del aviso se muestra en él el valor actual del parámetro.

La casilla de verificación "Acuse obligatorio" permite especificar si el aviso debe acusarse antes de ocultarlo.

Una de las funciones de gran utilidad que nos proporciona LOGO!, es la de desplegar señales de alarma que se visualizarán en el display, lo cual representa un gran ahorro de tiempo cuando se presente alguna falla en el equipo. Para esto utilizaremos el bloque de mensaje de texto el cual se conectará a alguno de los otros bloques y cuando la entrada de este se encuentre en "1" se visualizará en el display el texto que hallamos programado, hasta un máximo de 48 caracteres, además, de que también podemos visualizar los valores de entrada o salida de dichos bloques como se muestra en la figura 4.17.

Cuando el estado de la entrada de nuestro bloque de texto regrese a cero el mensaje desaparecerá del display, si deseamos que esto no suceda y que el mensaje permanezca hasta que alguien lo haya leído independientemente del estado de entrada del bloque, activaremos la función de acuse y el mensaje permanecerá en pantalla hasta que presionemos la tecla OK. Si en algún caso quisiéremos que el mensaje de texto se active con un cero en lugar de un uno, simplemente conectaremos en la entrada de nuestro bloque una compuerta NOT.

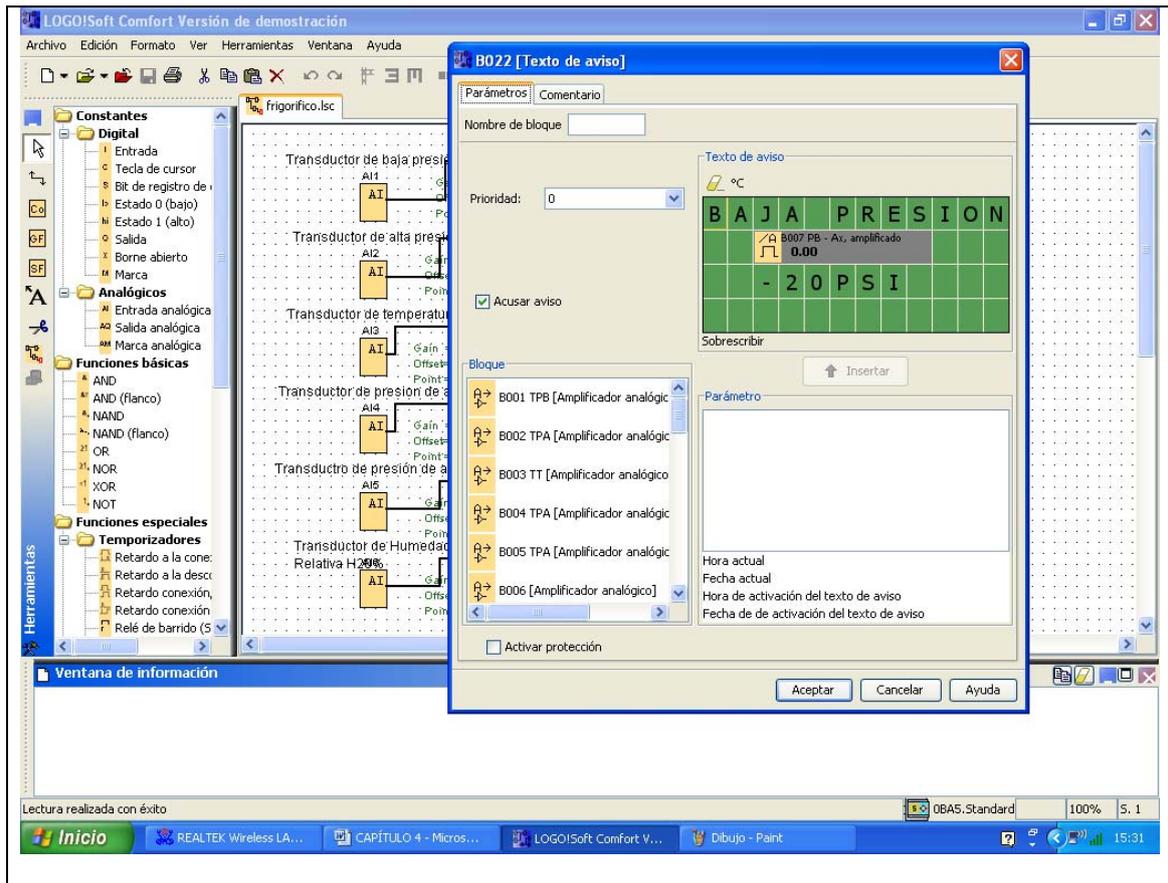


Fig. 4.17 Mensaje de texto.

Temporizador semanal

La salida, según la tabla 4.10 se controla mediante una fecha de activación y desactivación parametrizable. Se soporta cualquier combinación posible de días de la semana.

Conexión	Descripción
Parámetros	A través de los parámetros No1, No2, No3 se ajustan los momentos de conexión y desconexión para cada una de las levas del temporizador semanal. De esta manera, se parametrizan los días y la hora
Salida Q	Q se activa si está activada alguna de las levas parametrizadas

Tabal 4.10

Descripción de la función

Cada temporizador semanal tiene tres levas de ajuste, y a través de cada una de ellas se puede parametrizar una ventana de tiempo. Mediante las levas determina el momento de conexión y de desconexión. En un instante de conexión, el temporizador semanal activa la salida si ésta no estuviese aún conectada.

En un instante de desconexión, el temporizador semanal desactiva la salida si ésta no estuviese aún desconectada. Si Vd. indica para un temporizador semanal un instante de activación y uno de desactivación a la misma hora, pero en levadas diferentes, resultará una contradicción. En este caso, la leva 3 tendrá preferencia sobre la leva 2, y ésta a su vez sobre la 1.

El estado de conexión del reloj semanal depende de las tres levadas No1, No2 y No3.

Momentos de conmutación

Es posible cualquier momento comprendido entre las 00:00 y las 23:59 horas.

Particularidades de la parametrización

El cuadro de diálogo, Propiedades del bloque, contiene una ficha para cada una de las tres levadas donde se pueden indicar los días de la semana en los que se deben activar las levadas. Además, cada ficha ofrece la posibilidad de introducir el momento de conexión y de desconexión para cada leva en horas y minutos. La duración de conexión mínima es de un minuto.

Los momentos de conexión y de desconexión se pueden desactivar de forma independiente entre sí, es decir, puede conseguir un periodo de conexión de más de un día activando el temporizador, por ejemplo, con la leva 1 el lunes a las 7:00 y desactivando el tiempo de desconexión y desactivándolo con la leva 2 el miércoles a las 13:07 y desactivando el tiempo de conexión de la leva 2 ver figura 4.18.

La casilla de verificación, Activar protección, para la protección de parámetros permite determinar si los parámetros del modo de operación Parametrización en LOGO! se van a poder visualizar y modificar.

Respaldo del reloj

El reloj interno de un LOGO! sigue funcionando incluso aunque se corte la alimentación de la red eléctrica, es decir, el reloj posee una reserva de marcha. La duración de esta reserva de marcha depende de la temperatura ambiente. Para una temperatura de trabajo de 25° C, la reserva de funcionamiento típica es de 80 horas.

Para sustituir los interruptores horarios (relojes de deshielo) utilizaremos cuatro temporizadores semanales que quedarán parametrizados de la forma como se muestra en la tabla 4.11 En las noches por lo general no se abre la cámara de refrigeración por lo que no entra calor a ésta, en este periodo podemos aprovechar esto para programar periodos de deshielo más largos para ahorrar energía eléctrica.

Temporizador	Leva de desconexión	Leva de desconexión	Leva de desconexión
	1	2	3
RD1	8:00a.m a 9:00 a.m.	4:00p.m a 5:00p.m	8:00p.m a 12:00pm
RD2	8:00a.m a 9:00.a.m.	4:00p.m a 5:00p.m	8:00p.m a 11:00p.m
RD3	8:00a.m a 9:00.a.m.	4:00p.m a 5:00p.m	8:00p.m a 10:00p.m
RD4	8:00a.m a 9:00.a.m.	4:00p.m a 5:00p.m	8:00p.m a 9:00p.m

Tabla 4.11

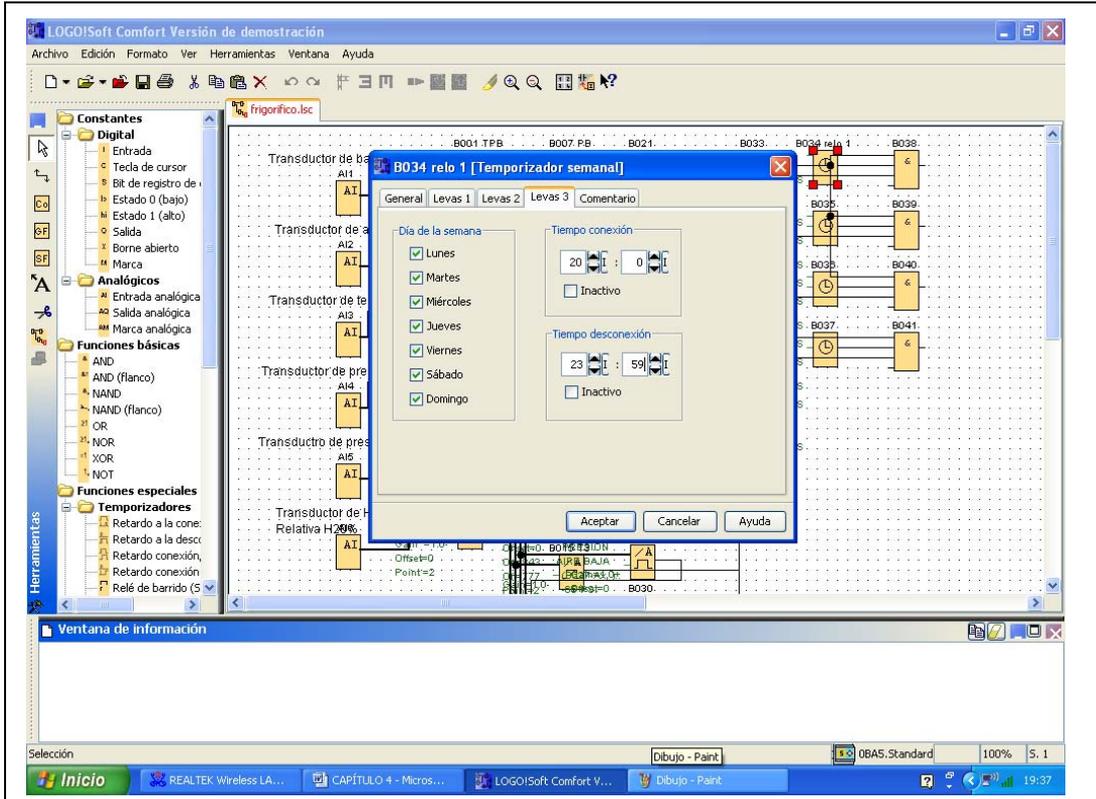


Fig. 4.18 Parametrización del temporizador semanal.

Retardo a la conexión

Con el retardo a la conexión, como se ve en la tabla 4.12, la salida se activa una vez que ha transcurrido un periodo de tiempo parametrizable.

Conexión	Descripción
Entrada Trg	A través de la entrada Trg (Trigger) se inicia el tiempo para el retardo a la conexión.
Parámetros	T es el tiempo de retardo tras el que se activa la salida (la señal de salida pasa de 0 a 1). Remanencia activada (on) = el estado se guarda de forma remanente.
Salida Q	Q se activa una vez transcurrido el tiempo parametrizado T, si el parámetro Trg sigue activado.

Tabla 4.12

Parámetro T

El tiempo predeterminado para el parámetro T, también puede ser el valor actual de otra función ya programada. Puede utilizar los valores actuales de las siguientes funciones:

- Comparador analógico
- Conmutador analógico de valor umbral
- Amplificador analógico y
- Contador de retroceso / avance.

La función deseada se selecciona a través del número de bloque.

Para la validez y la exactitud de la base de tiempo, observe las indicaciones del manual de LOGO!

Descripción de la función

Si el estado en la entrada (Trg) pasa de 0 a 1, se inicia el tiempo (Ta), éste es el tiempo actual en LOGO!

Si el estado en la entrada (Trg) permanece en 1 al menos durante el tiempo (T) parametrizado, la salida se ajusta a 1 una vez transcurrido el tiempo (T) -la salida se activa con un retardo respecto a la entrada-

Si el estado de la entrada Trg cambia nuevamente a 0 antes de que transcurra el tiempo (T), el tiempo se pondrá de nuevo a cero.

La salida tomará nuevamente el valor 0 cuando la entrada (Trg) lleva aplicado el valor 0.

Tras una caída de red se restablecerá nuevamente el tiempo ya transcurrido.

Como ya explicamos anteriormente, no es conveniente que los motocompresores arranquen inmediatamente después de una interrupción súbita, ya que como lleva cierto tiempo el que las presiones se igualen en el sistema, un arranque inmediato provocaría una sobrecarga eléctrica que activaría los relevadores de sobrecarga, además, que no es conveniente que todos los motores arranquen a un mismo tiempo, para evitar caídas de tensión y problemas con el factor de potencia. Para solucionar esto usamos convencionalmente relevadores con retraso al arranque (ON-DELAY), con LOGO! lo sustituiremos con bloques temporizadores de retardo al arranque, los cuales podemos parametrizar como más nos convenga, en rangos dados en segundos, minutos y horas. La parametrización de los “timers” de retraso al arranque, se muestran en la figura 4.19 y los tiempos a parametrizar los podemos consultar en la tabla 4.2

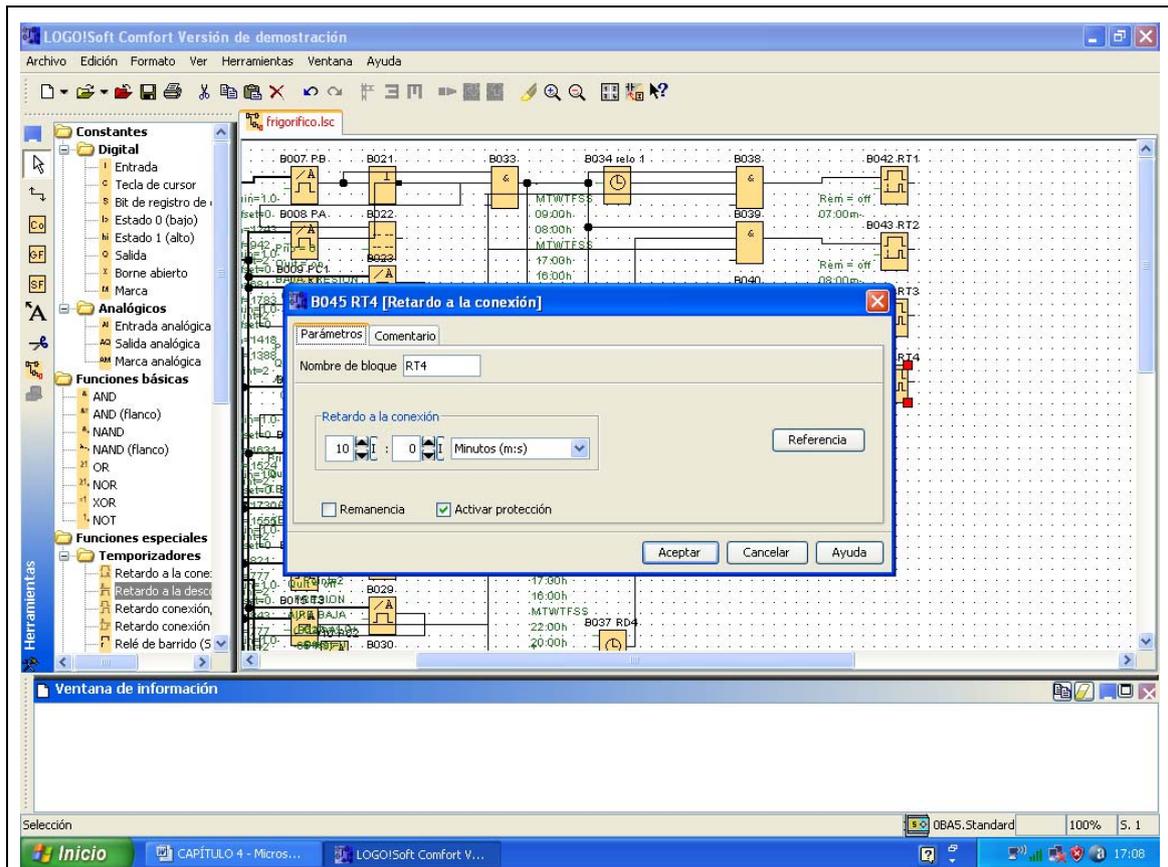


Fig. 4.19 Parametrización del temporizador de retardo a la conexión.

Retardo a la desconexión

Para lograr que el sistema humidificador quede libre de agua cuando no esta en funcionamiento, utilizaremos un “timer” de retardo a la conexión, ver tabla 4.13, el cual mantendrá abierta la válvula del aire el tiempo suficiente para que se purgue perfectamente la tubería de agua, este “timer” se parametrizará de una forma muy similar al anterior.

Con el retardo a la desconexión, la salida se pone a cero una vez transcurrido un periodo de tiempo parametrizable.

Conexión	Descripción
Entrada Trg	Con el flanco descendente (cambio de 1 a 0) de la entrada Trg (Trg significa Trigger), se inicia el tiempo para el retardo a la desconexión.
Entrada R	A través de la entrada R (Reset), el tiempo para el retardo a la desconexión se pone a cero y la salida se ajusta a 0 (esta entrada tiene preferencia sobre Trg).
Parámetros	T es el tiempo tras el que se desconecta la salida (la señal de salida pasa de 1 a 0). Remanencia activada (on) = el estado se guarda de forma remanente.
Salida Q	Q se conecta con Trg y se mantiene conectada hasta que T haya transcurrido completamente.
Conexión	Descripción

Tabla 4.13

Parámetro T

El tiempo predeterminado para el parámetro T también puede ser el valor actual de otra función ya programada. Puede utilizar los valores actuales de las siguientes funciones:

- Comparador analógico
- Conmutador analógico de valor umbral
- Amplificador analógico y
- Contador de retroceso/avance.

La función deseada se selecciona a través del número de bloque.

Para la validez y la exactitud de la base de tiempo, observe las indicaciones del manual de LOGO!.

Descripción de la función

Si la entrada (Trg) toma el estado 1, entonces la salida Q pasa inmediatamente al estado 1.

Si el estado de (Trg) pasa de 1 a 0, en LOGO! se vuelve a iniciar el tiempo (Ta) actual y la salida permanece activada. Cuando (Ta) alcanza el valor establecido por (T) es decir, ($Ta = T$) la salida Q recupera el valor 0.

Si la entrada (Trg) se activa y se desactiva de nuevo, el tiempo (Ta) se iniciará otra vez.

A través de la entrada R (Reset) se ponen a cero el tiempo (Ta) y la salida antes de que el tiempo (T) haya transcurrido completamente.

Tras una caída de red se restablecerá nuevamente el tiempo ya transcurrido.

Salidas.

Los bloques de salida representan los bornes de salida de un LOGO!. Se pueden utilizar hasta 16 salidas. A través de la parametrización de bloques puede asignar un nuevo borne de salida a un bloque de salida, siempre que el borne de salida no se utilice en el programa.

En la salida se encuentra siempre la señal del ciclo de programa anterior, ya que dentro de un bucle no se modifica su valor.

Este es el último paso en la programación de nuestro circuito de control, a través de las salidas entregaremos las señales de encendido y apagado a los diferentes dispositivos del sistema frigorífico y de humidificación como se muestra en la figura 4.20 Debido a que las señales de salida del LOGO! no pueden manejar grandes cargas eléctricas (12 VCD y 24 VCD hasta 10 A) utilizaremos relevadores para poder accionar a los motores de gran potencia.

La asignación de las salidas se hará como se muestra en la tabla 4.14

SALIDA	DISPOSITIVO A CONTROLAR
Q1	Motocompresor 1
Q2	Motocompresor 2
Q3	Motocompresor 3
Q4	Motocompresor 4
Q5	Ventilador de condensador 1
Q6	Ventilador de condensador 2
Q7	Ventilador de condensador 3
Q8	Ventilador de condensador 4
Q9	Compresor de aire
Q10	Bomba de agua
Q11	Válvula solenoide de drenaje
Q12	Válvula solenoide de agua
Q13	Válvula solenoide de aire

Tabla 4.14 Asignación de salidas

4.4.2 Simulación, selección del LOGO! y Generación de reporte

Simulación

Una de las grandes ventajas de utilizar la programación por software es que podemos realizar una simulación completa de nuestro proyecto antes de implementarlo. En esta simulación podremos cambiar los parámetros de las entradas a nuestro sistema de control con lo cual comprobaremos el correcto funcionamiento de nuestro proyecto antes de implementarlo físicamente y en caso de ser necesario realizar las correcciones necesarias.

Para esto iremos al menú de “herramientas” y seleccionaremos la opción de simulación. A continuación aparecerá en la parte inferior de la pantalla una ventana donde encontraremos todas nuestras entradas (A/1, A/2 etc.) de señal de control utilizadas, las cuales podremos manipular individualmente y podremos observar el comportamiento de las salidas (Q1,Q2, etc.) lo cual sucederá en tiempo real, a si mismo podremos observar dentro de nuestro circuito el estado de cada uno de los bloques utilizados.

Cuando cambiemos alguno de los parámetros de entrada (corriente o voltaje) el software realizará la simulación y observaremos un comportamiento de las salidas, las cuales están representadas a través de unos focos que encenderán o apagarán, según sea el caso como se muestra en la figura 4.20.

De esta manera estaremos completamente seguros del correcto funcionamiento de nuestro proyecto antes de llevarlo al campo, evitando realizar correcciones posteriores.

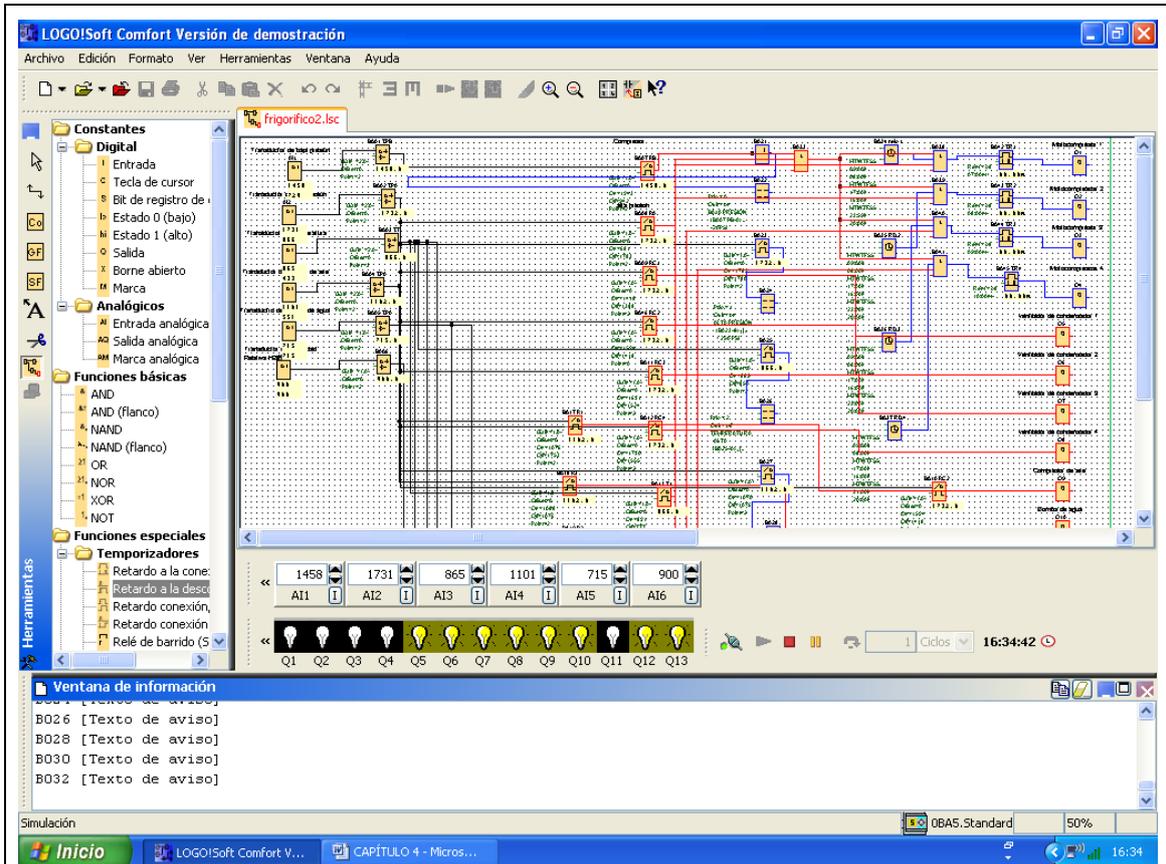


Figura 4.20 Simulación en LOGO! Soft comfort v5

Selección de LOGO!

Una vez realizado nuestro proyecto, podemos determinar el LOGO! a utilizar, a través de la función determinar LOGO que se encuentra en el menú de herramientas. Esta función nos desplegará en la ventana de ayuda el total de bloques utilizados, la cantidad de memoria a utilizar y el modelo de LOGO! posible a utilizar. Como se muestra a continuación en las tablas: 4.15 y 4.16

16/09/08 15:26 frigorifico2.lsc	
*** Determinar LOGO!	
Recursos empleados:	
Bloques de función	49/130
REM	0/60
Entradas digitales	0/24
Salidas digitales	13/16
Marca	0/24
Entradas analógicas	6/8
Cuadro de texto	6/10
Salidas analógicas	0/2
Memoria de líneas de p.	644/2000
Nombres de bloques	28/64
Marca analógica	0/6
Teclas de cursor	0/4
Registro de desplazamiento.	0/1
Bit de registro de des.	0/8
Borne abierto	0/16
Profundidad máx. de anidamiento: AI1-B001 TPB-B007 PB-B033-B038-B042 TR1-Q1	

Tabla 4.15 Recursos empleados

Se puede utilizar el siguiente LOGO!:
0BA4.Standard
0BA5.Standard
Bloques sin conexión con una salida:
B022 [Texto de aviso]
B024 [Texto de aviso]
B026 [Texto de aviso]
B028 [Texto de aviso]
B030 [Texto de aviso]
B032 [Texto de aviso]

Tabla 4.16 LOGO! a utilizar

Generación de reporte.

Documentación del programa

Inscripciones

Con esta herramienta de texto de la barra de herramientas se pueden crear inscripciones o rótulos como comentarios independientes de los bloques y conectados. Para ello se debe activar la herramienta de texto.

Herramienta de texto

Si este botón está activado, al hacer clic con el ratón en el entorno de programación o sobre un bloque se abrirá una ventana para introducir el texto. Una vez introducido el texto, haga sencillamente clic en la plataforma de programación o pulse la tecla [ESC] Se cierra la ventana y se visualiza el comentario que se ha introducido. El texto ahora también puede ser seleccionado y desplazado o alineado.

Texto independiente del bloque y vinculado

Si para introducir el texto se hace clic en el entorno de programación, el texto será independiente del bloque. La modificación de un texto se realiza seleccionando la herramienta de texto y haciendo clic en el texto a modificar.

Si se hace clic sobre un bloque con la herramienta de texto, el texto estará vinculado a dicho bloque. En tal caso, se tratará de un comentario de bloque. También se pueden introducir o modificar comentarios de bloque mediante la ficha Comentario del cuadro de diálogo Propiedades del bloque. Con el comentario de bloque se puede asignar un nombre al bloque, por ejemplo, o indicar una nota sobre la tarea que desempeña el bloque en el circuito.

Si se selecciona un bloque que tenga vinculado un texto, este texto no se seleccionará pero, al mover el bloque, se desplazará con él. Cuando se copie o recorte el bloque, sólo se depositará el bloque en el portapapeles. Al cortar se borrará el texto vinculado. Pero también es posible marcar por separado el texto vinculado, y que el mismo sea desplazado, copiado, recortado e insertado de esta forma. Si un texto vinculado es insertado procediendo del portapapeles, éste ya no estará vinculado al módulo.

De esta misma forma también podemos generar un reporte impreso de nuestro proyecto donde tendremos el circuito completo y un detalle de todos los bloques utilizados el cual nos será de gran utilidad al realizar la conexión física continuación presentamos dicho reporte físico y el reporte de los bloques se presenta en el apéndice A.7

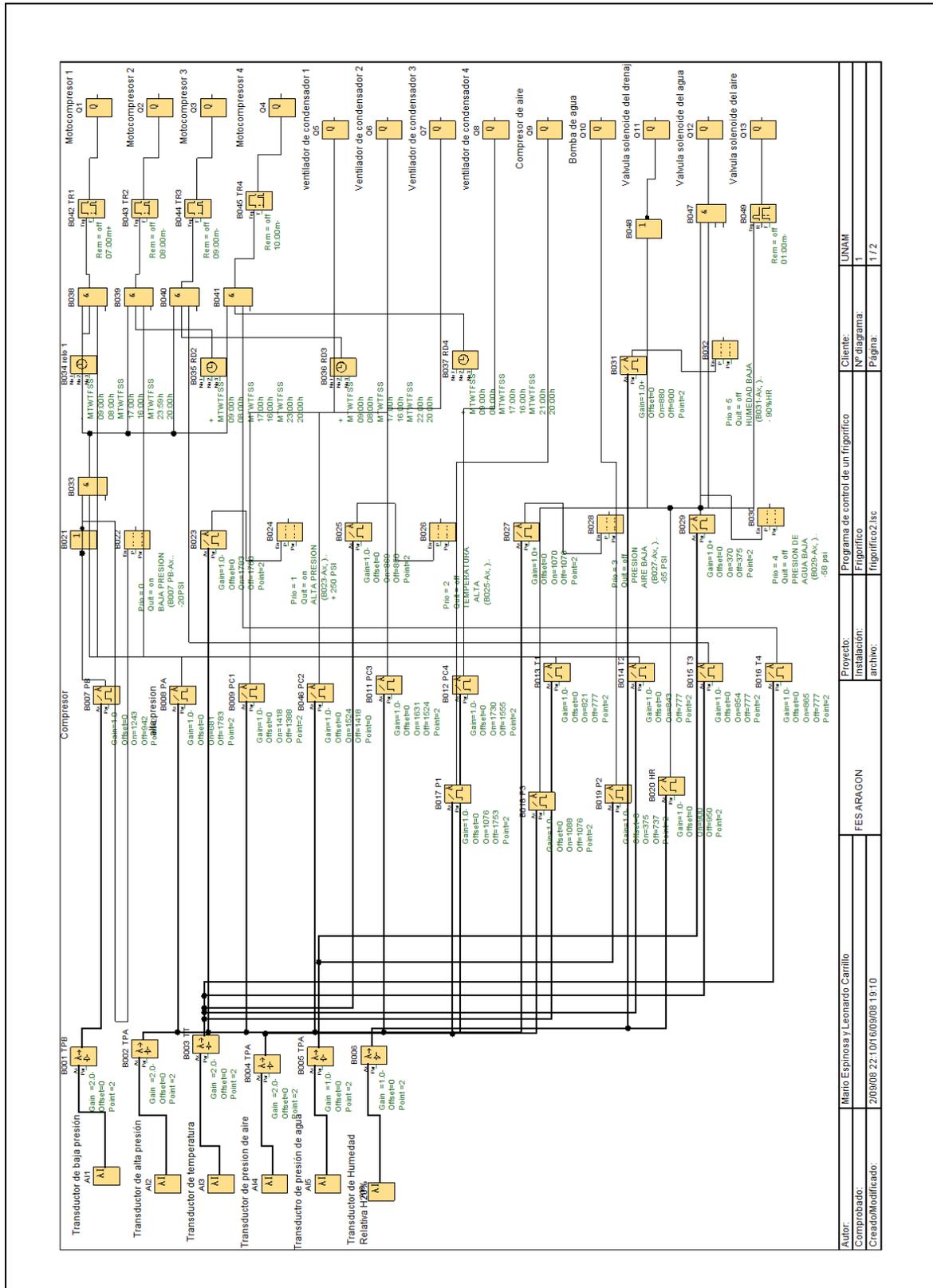


Fig. 4.21 Circuito de control

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Un proyecto es la búsqueda de una solución al planteamiento de un problema. Un proyecto de inversión es un plan que se asigna determinado capital y se le proporcionan insumos de varios tipos, podrá producir un bien o un servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general.

La evaluación de un proyecto de inversión tiene como objeto conocer su rentabilidad económica y social, de tal manera que asegure resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable.

La toma de decisiones acerca de invertir en determinado proyecto no debe recaer en una sola persona ni en el análisis de datos parciales, sino en grupos multidisciplinarios que cuenten con la mayor cantidad de datos posibles. A toda la actividad encaminada a tomar una decisión de inversión sobre un proyecto se le llama evaluación de proyectos.

Habiendo concluido nuestro proceso de estudio y desarrollo técnico, nos percatamos que existe un mercado potencial por cubrir y que tecnológicamente no existe impedimento alguno, para llevar a cabo el proyecto. La parte de análisis económico pretende determinar cual es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cuál será su costo total y compararlo con el costo de utilizar las tecnologías aplicadas actualmente.

Esto lo realizaremos de una manera muy sencilla, a través de una tabla comparativa de dispositivos a utilizar y el costo de estos. Tabla en el apéndice A.8

De esta forma podremos visualizar claramente las ventajas económicas que implica la utilización del PLC LOGO! en lugar de la tradicional lógica de relevadores.

Los costos pueden variar de acuerdo al fabricante de los dispositivos para nuestro cuadro comparativo utilizamos costos proporcionados por Danfoss

Como podemos observar en la tabla del apéndice A8 el ahorro económico es realmente considerable lo que hace a nuestro proyecto competitivo en el mercado, además, que también vamos a ahorrar tiempo considerable en el cableado, al utilizar menos componentes físicos y menos espacio, para tableros de control; así como facilitar la rápida detección de fallas.

GLOSARIO

GLOSARIO

A

API. Autómata programable Industrial o PLC

Arrancador magnético combinado. Se le llama así a un arrancador magnético con un dispositivo de protección de cortocircuito, ambos en un solo gabinete.

Arrancador. Es un elemento capaz de arrancar y para el motor, y darle protección de sobrecarga.

B

Barómetro aneroides. Elemento de medición que está formado por una cámara hecha de material rígido, excepto por uno de sus extremos, que consiste en una lamina flexible muy fina.

C

Cibernética. La cibernética es el estudio del control y comunicación en los sistemas complejos: organismos vivos, máquinas y organizaciones. Especial atención se presta a la retroalimentación y sus conceptos derivados.

Compresor. Aspira y comprime isentropicamente el gas refrigerante en estado de vapor saturado hasta llegar al punto de vapor sobrecalentado aumentando su presión y temperatura.

Condensador. En este elemento hay un intercambio de calor a presión constante, del vapor en el sistema, con un medio físico (aire o agua) que se encuentre a una temperatura menor y siguiendo la segunda ley de la termodinámica el calor pasa del medio mas caliente al más frío.

Contactador. Es un elemento electromagnético diseñado para manejar corrientes relativamente altas.

Contactador. Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos.

Control eléctrico. Se define como las partes y funcionamiento de los elementos principales que intervienen en el control eléctrico: contactores, relevadores, temporizadores, botoneras, interruptores, lámparas indicadoras, etc.

Control industrial. Podríamos definir el control como la manipulación indirecta de las magnitudes de un sistema denominado planta a través de otro sistema llamado sistema de control.

Controladores. El controlador es el cerebro del sistema de control. Recibe las entradas procedentes de los sensores y demás dispositivos externos, y realiza cálculos

matemáticos y comparaciones lógicas, a fin de decidir que es lo que debe realizarse a continuación.

Conversión. Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.

Convertor analógico-digital. Es un dispositivo electrónico capaz de convertir un **voltaje** determinado (analógico) en un valor binario (digital)

Convertor digital-analógico. Un convertor digital analógico o DAC (Digital to Analogue Converter) es un dispositivo para convertir datos digitales en señales de corriente o de tensión analógica.

Convertor flash. Este convertor destaca por su elevada velocidad de funcionamiento.

Cortocircuito. Es el contacto directo de dos puntos con potenciales eléctricos distintos.

D

Diagrama de alambrado. El diagrama de alambrado muestra tan cerca como es posible, la localización real de todas las partes componentes de un sistema.

Diagrama elemental. El diagrama elemental proporciona una delimitación del circuito en forma rápida y fácilmente entendible.

Dispositivo de temperatura resistiva. (RTD) Los RTD son sensores de temperatura resistivos. En ellos se aprovecha el efecto que tiene la temperatura en la conducción de los electrones para que, ante un aumento de temperatura, haya un aumento de la resistencia eléctrica que presentan.

E

Evaporador. Es un intercambiador de calor entre fluidos (refrigerante y aire del medio ambiente a refrigerar), de modo que mientras uno se enfría, disminuyendo su temperatura, el otro se calienta, aumentando su temperatura, pasando de su estado líquido original a estado de vapor saturado sucediendo todo esto a una presión constante.

F

Filtro deshidratador. Filtra residuos de humedad e impurezas para evitar que la válvula de expansión se obstruya.

Fuente de energía. Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.

I

Interruptor termomagnético. Su función es la de proteger a la instalación y al motor, abriendo el circuito cuando existe un cortocircuito o sobrecarga.

M

Magnitud digital. Es aquella que toma un conjunto de valores discretos.

Motor de inducción. Es un motor eléctrico usado con alimentación trifásica. La armadura de éste tipo de motor consiste en tres bobinas fijas y es similar a la del motor síncrono.

Motor eléctrico. Es una máquina eléctrica rotativa que transforma **energía eléctrica** en energía mecánica.

Motor síncrono. Es en esencia un alternador trifásico que funciona a la inversa.

Motores de corriente alterna. Es un tipo de motores que trabajan con corriente trifásica y que se dividen a su vez en: los motores síncronos y los motores de inducción.

Motores de corriente continua. Los motores de corriente continua son similares en su construcción a los generadores.

Motoventilador. Elemento que se activa cuando se eleva la temperatura y tiene como función eliminar el incremento de temperatura.

O

Optoacoplador. Es un componente electrónico formado por la unión de un diodo LED o un IRED y un fototransistor, fotodiodo, LASCR o fotodarlington acoplados a través de un medio conductor de luz y encapsulados en una cápsula cerrada y opaca a la luz.

P

Planta. Representa las partes de una máquina que traban juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular.

Presostatos. Es un mecanismo que abre y cierra unos contactos que posee, en función de la presión que detecta.

Proceso. Es una operación o un desarrollo natural progresivamente continuo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma continua y que conducen a un resultado o propósito determinado.

Pulsación. Esta acción describe arranque y paro repetidos de un motor, a intervalos frecuentes por periodos de tiempo cortos.

Pulsadores. Elementos de accionamiento, que sirven para cerrar o abrir un circuito permitiendo el paso o no de la corriente a través de ellos.

R

Relé. Son interruptores eléctricos dotados de uno o más contactos que sirven para abrir o cerrar uno o más circuitos.

Relevador. El relé es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán.

Relevadores de control. Es un dispositivo electromagnético similar en sus características de operación a un contactor. El relevador se usa generalmente para amplificar la capacidad de contacto o multiplicar las funciones de interrupción y cierre de un dispositivo piloto.

Retroalimentación. La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado.

S

Sensor. Es un dispositivo que convierte la variable de salida en otra variable manejable, tal como un desplazamiento, presión, voltaje, que pueda usarse para comparar la salida con la señal de entrada de referencia.

Señal de corriente de entrada. Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.

Señal de corriente de salida. Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.

Separador de aceite. Se encarga de separar y regresar el aceite del gas que halla bombeado el compresor para evitar que éste se dañe por falta de lubricación y que el evaporador no se inunde de aceite perdiendo capacidad de intercambio de calor.

Sistema analógico. Es un sistema que contiene dispositivos que manipulan cantidades físicas representadas en forma analógica. En un sistema de este tipo, las cantidades varían sobre un intervalo continuo de valores. Así, una magnitud analógica es aquella que toma valores continuos.

Sistema de control. Se define como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un modo conveniente para su supervivencia.

Sistema en lazo abierto. Un sistema en lazo abierto se caracteriza por la falta de atención del operador respecto al proceso, éste da los requerimientos necesarios al sistema para que logre un objetivo, posteriormente acciona los actuadores y el sistema realiza los procesos necesarios para cumplir dichos objetivos.

Sistema en lazo cerrado. Un sistema en lazo cerrado es aquel que realiza medidas sobre la salida real del proceso, y las compara con la salida deseada. El sistema de control realiza los ajustes necesarios a fin de que las diferencias entre la salida real y la deseada se reduzcan al mínimo.

Sistema. Es una combinación de elementos que actúan juntos y realizan un objetivo determinado.

Sistemas dinámicos. Un sistema dinámico es un sistema complejo que presenta un cambio o evolución de su estado en un tiempo, el comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones; de esta forma se puede elaborar modelos que buscan representar la estructura del mismo sistema.

Sistemas lineales. Son aquellos que hacen uso de funciones lineales. Una función lineal es aquella que satisface la condición de que un solo valor satisface a otro del lado opuesto de la igualdad, es decir, solo existe un resultado para cada ecuación.

Sistemas no lineales. Son aquellos que hacen uso de funciones no lineales. Una función no lineal es aquella donde no existe un valor único para satisfacer la ecuación, es necesario tomar en cuenta las consecuencias de tomar alguno de los resultados posibles.

T

Tanque recibidor. Asegura que solamente llegue refrigerante en estado líquido a la válvula de expansión.

Temporizadores con retardo a la conexión (TON) Este tipo de temporizadores se caracteriza porque cierran sus contactos después de un cierto tiempo programado.

Temporizadores con retardo a la desconexión (TOFF) Este tipo de temporizadores se caracteriza por tener un tiempo programado de retraso en el cual abrirán sus contactos normalmente cerrados.

Temporizadores. Es un dispositivo utilizado cuando se requiere controlar el tiempo, dar una cierta secuencia o cumplir con funciones a intervalos de tiempo.

Termistor. Un termistor es una resistencia eléctrica que varía su valor en función de la temperatura.

Termopar. Un termopar es un circuito formado por dos metales distintos que produce un voltaje siempre y cuando los metales se encuentren a temperaturas diferentes.

Tiristor. Es un rectificador controlado, donde la corriente que circula de forma unidireccional desde el ánodo al cátodo, esta circulación de corriente es iniciada por una corriente pequeña de señal desde la puerta al cátodo.

Trampa de líquido. Su función es la de retener el refrigerante que aún se encuentre en estado líquido y asegurar que al compresor solo llegue vapor saturado con el fin de evitar que se dañen las válvulas del compresor por golpes de líquido.

Transformada de Laplace. Es un método operativo que aporta una ventaja al resolver ecuaciones diferenciales lineales, ya que posible convertir muchas funciones comunes (senoidales, exponenciales) en funciones algebraicas de una variable “s” compleja.

Triac. Un triac poder mirarse como un "tiristor bidireccional" debido a que conduce en ambas direcciones. Por el triac la corriente circula actual en cualquiera de las dos direcciones entre los terminales principales.

Tubo Venturi. Es una tubería con un estrangulamiento, cuyo funcionamiento esta basado en el principio de Bernoulli.

Turbina. Es un rotor en el interior del conducto por el cual pasa un fluido.

V

Válvula solenoide. Cuando el termostato registra la temperatura deseada corta el suministro de corriente eléctrica cerrando la válvula solenoide que restringirá el paso del gas refrigerante.

Válvula termostática de expansión. Regula el paso del gas refrigerante y lo regresa a una presión inferior, el fluido se expande adiabáticamente a través de un proceso de estrangulamiento.

Variable controlada. Es la cantidad o condición que se mide y controla.

Variable manipulada. Es la cantidad o condición que el controlador modifica para modificar el valor de la variable controlada.

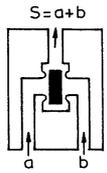
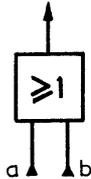
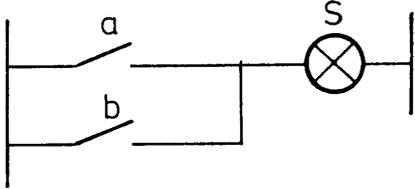
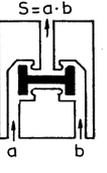
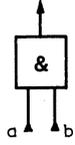
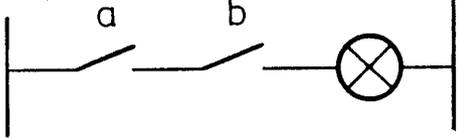
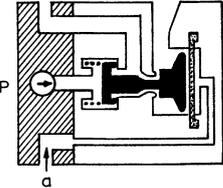
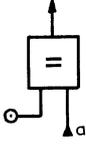
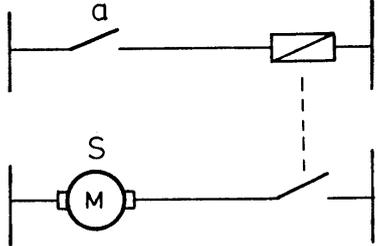
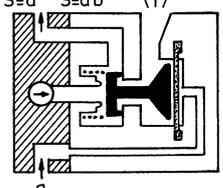
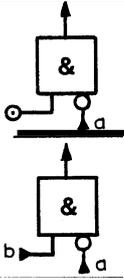
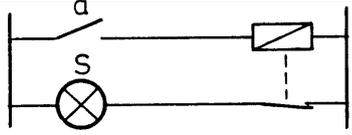
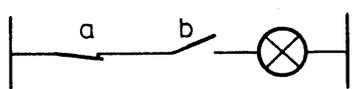
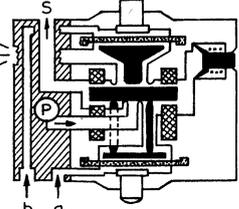
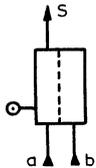
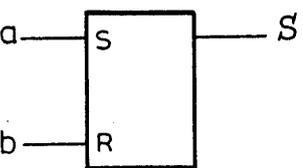
Variaciones externas. Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.

APENDICES

APÉNDICE

A.1

Tecnologías y modelos.

Tecnologías		Modelo
Célula lógica	Símbolo	Álgebra
Neumática		De Boole
		 $S = a + b$
		 $S = a \cdot b$
		 $S = a$
		 $S = \bar{a}$
		 $S = \bar{a} \cdot b$
		 $S_t = [a + S_{(t-1)}] \cdot \bar{b}$

A.2

Tipos de termopares

Tipo K (Ni-Cr) / Aluminio (aleación de Ni-Al): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.

Tipo E (Cromo / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Tipo J (Hierro / Constantán): debido a su limitado rango, el tipo J es menos popular que el K. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a $760\text{ }^{\circ}\text{C}$ ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Tienen un rango de -40°C a $+750^{\circ}\text{C}$.

Tipo N (Nicrosil (Ni-Cr-Si) / Nisil (Ni-Si)): Es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros.

Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad ($10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Tipo B (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a $1.800\text{ }^{\circ}\text{C}$. El tipo B por lo general presentan el mismo resultado a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ debido a su curva de temperatura / voltaje.

Tipo R (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): adecuados para la medición de temperaturas de hasta $1.600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Su baja sensibilidad ($10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado quitan su atractivo.

Tipo S (Hierro / Constantán): ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los $1.600\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero su baja sensibilidad ($10\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro ($1064,43\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Tipo T: es un termopar adecuado para mediciones en el rango de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. El conductor positivo está echo de cobre y el negativo, de constantán.

Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen, además una resolución menor.

A.3

Componentes de una planta de refrigeración.

Diferencial de presión (1): Este dispositivo compara la presión del gas refrigerante con la presión de la bomba de aceite para asegurar una correcta lubricación todo el tiempo, cuando la diferencia de presiones disminuye en más de 10 p.s.i abre un circuito eléctrico que desconecta al motocompresor para evitar que se dañe.

Control de baja y alta presión (2): Este dispositivo cuenta con dos presostatos, el primero se calibra para que al disminuir la presión en el lado de succión el equipo se detenga (la calibración variara dependiendo del gas refrigerante a ser empleado sin llegar nunca al punto de vacío) esto puede suceder por diferentes razones, la válvula solenoide (F) de la línea de líquido se encuentre cerrada por que el termostato (5) éste en corte al alcanzar, la temperatura deseada, la válvula de termostática de expansión (H) o el filtro deshidratador (E) estén tapados por humedad o suciedad o por que el sistema tenga pérdidas de gas refrigerante causadas por alguna fuga. El segundo presostato es el de alta presión y sensa la presión de la línea de descarga este se activa desconectando el motocompresor cuando la presión sobrepasa los valores máximos permitidos de funcionamiento (dependen del gas refrigerante a utilizar) para proteger al equipo de una sobrecarga esto puede a llegar a suceder cuando los ventiladores del condensador (C) dejan de funcionar o el condensador está muy sucio y no existe un buen flujo de aire a través de él.

Termostatos (3 y 4): Estos termostatos se activan al elevarse la temperatura de la línea de descarga lo cual es señal de que la presión del gas refrigerante también se ha incrementado, se emplean para conectar y desconectar los ventiladores del condensador (C) de acuerdo a la demanda requerida este sistema permite un ahorro de energía utilizando solo los ventiladores que sean necesarios para mantener la presión del gas en los parámetros adecuados, en un día caluroso trabajarán todos los ventiladores y en un día frío sólo algunos de ellos o ninguno.

Termostato de control de temperatura (5): Este termostato sensa la temperatura ambiente del frigorífico al llegar a la temperatura a la que se ha calibrado, abre un circuito eléctrico que cierra a la válvula solenoide (F) cortando el flujo de gas refrigerante o en algunos casos directamente corta la alimentación del motocompresor.

- A) **Compresor.** El compresor aspira y comprime isentropicamente el gas refrigerante en estado de vapor saturado hasta llegar al punto de vapor sobrecalentado aumentando su presión y temperatura.
- B) **Separador de aceite.** Se encarga de separar y regresar el aceite del gas que halla bombeado el compresor para evitar que éste se dañe por falta de lubricación y que el evaporador no se inunde de aceite perdiendo capacidad de intercambio de calor.

- C) **Condensador.** El refrigerante pasa después de ser comprimido al condensador donde hay un intercambio de calor a presión constante, con un medio físico (aire o agua) que se encuentre a una temperatura menor y siguiendo la segunda ley de la termodinámica el calor pasa del medio mas caliente al más frío: Ahí también cambia de estado físico de vapor sobrecalentado a líquido saturado.
- D) **Tanque recibidor.** Asegura que solamente llegue refrigerante en estado líquido a la válvula de expansión
- E) **Filtro deshidratador.** Filtra residuos de humedad e impurezas para evitar que la válvula de expansión se obstruya.
- F) **Válvula solenoide:** Se activa y se desactiva a través del termostato. Cuando el termostato registra la temperatura deseada corta el suministro de corriente eléctrica cerrando la válvula solenoide que restringirá el paso del gas refrigerante.
- G) **Válvula termostática de expansión.** Regula el paso del gas refrigerante y lo regresa a una presión inferior, el fluido se expande adiabáticamente a través de un proceso de estrangulamiento.
- H) **Válvula solenoide.** Esta válvula solenoide se emplea en los sistemas de deshielo por gas caliente por lo general en equipos de congelación, se activa a través de un reloj de control, al accionarse realiza un baypass que dirige el gas en estado de vapor sobrecalentado directamente al evaporador.
- I) **Evaporador.** El evaporador es un intercambiador de calor entre fluidos (refrigerante y aire del medio ambiente a refrigerar), de modo que mientras uno se enfría, disminuyendo su temperatura, el otro se calienta, aumentando su temperatura, pasando de su estado líquido original a estado de vapor saturado sucediendo todo esto a una presión constante.
- J) **Trampa de líquido.** Su función es la de retener el refrigerante que aún se encuentre en estado líquido y asegurar que al compresor solo llegue vapor saturado con el fin de evitar que se dañen las válvulas del compresor por golpes de líquido y el líquido entre en el cárter del compresor mezclándose con el aceite lo que provocaría una lubricación deficiente.

A.4

Condiciones y tiempo de almacenamiento de frutas y verduras.

Rango de temperatura	Frutas	Condiciones de la			Hortalizas	Condiciones de la		
		°C	H.r.%	VA		°C	H.R.%	VA
0a4°C	Manzana"	0a4	90-95	2-	Alcachofas	0	95	3-
	Damasco	0	90	2-	Espárrago	0a2	95	2-
	Cereza	0	90-95	1-	Repollo**	0	95	1-
	Dátil	0	85	1-	Zanahoria	0	95	5-
	Uva	-1a0	90-95	1-	Coliflor	0	95	2-
	Kiwi	-1.5	90-95	8-	Apio	0	95	4-
	Limón	0a45	85-90	2-	Maíz	0	95	1s
	Naranja**	0a4	85-90	3-	Maíz (dulce)	0	65-70	6-
	Durazno	0	90	2-	Ajos	0	95	1-
	Pera**	0	90-95	2-	Puerro	0	95	1-
	Ciruela	0	90-95	2-	Lechuga	0	90-95	5-
	Frambuesa	0	90-95	1-	Champiñones	0	65	6-
	Frutilla	0	90-95	1-	Cebolla	0	65-70	1-
					Arvejas	2a3	95	1-
				Papas	0	90-95	1-	
				Espinaca		95		
4a8°C	Mandarina	4a6	85-90	4-	Frijoles	7a8	92-95	1-
	Mangostán	4a5	85-90	6-7s	Papas (de mesa)	4a6	90-95	4-8m
	Sandia	5a10	85-90	2-3s	(industriales)	7a10	90-95	2-5m
MAS DE 8°C	Palta	7a12	85-90	1-	Pepino	9a12	95	1-
	Plátano	12a13	85-90	10-	Berenjena	7a10	90-95	10d
	(coloreado)	13a16	85-90	20d	Pepinillo	13	90-95	5-8s
	Pomelo	10	85-90	5-	Jengibre	13	65	6m
	Guayaba	8a10	90	2-3m	Ocra	75a10	90-95	1-2s
	Limón (verde)	10a14	85-90	2-3s	Calabaza (zapallo)	10-13	50-75	2-5m
	Lima	85a10	85-90	1-	Pimiento	7a10	90-95	1-
	Mango**	7a12	90	3-6s	Camote	13a16	85-90	4-7m
	Melón	7a10	85-90	3-7s	Tomate (verde)	12a13	85-90	1-2s
	Papaya	7a10		1-	(maduro)	8-10	85-90	1s
	Piña			1-	Name	16	85-90	3-
	(verde)	10a13	85-90	2-4s				
	(madura)	7a8	90	2-4s				

A.5

Rangos de entrada y salida de los transductores a emplear.

Tipo de Transductor	Rango de entrada	Rango de señal de salida
Transductor de baja presión	-1 a 6 bar	4mA a 20mA
Transductor de alta presión	-1 a 20 bar	4mA a 20mA
Transductor de temperatura	-35°C a 55°C	0 a 20mA
transductor de presión de aire	-1 a 12 bar	4mA a 20mA
Transductor de presión de agua	1 a 9 bar	0VDC a 10VDC
Transductor de Humedad relativa %HR	1 %HR a 100%HR	0VDC a 10VDC

A.6
Parámetros de funcionamiento.

Conmutador Analógico	Rango de operación		Umbral de operación	
	ON	OFF	ON	OFF
PB	2.7 bar (40 P.S.I)	1.38 bar (20 P.S.I)	12.43 mA	9.42 mA
PA	2.7 bar (40 P.S.I)	17.2 bar (250 P.S.I)	6.81 mA	17.83 mA
PC1	12.4 bar (180 P.S.I)	12 bar (175 P.S.I)	14.18 mA	13.88 mA
PC2	13.8 bar (200 P.S.I)	12.4 bar (180 P.S.I)	15.24 mA	14.18 mA
PC3	15.2 bar (220 P.S.I)	13.8 bar (200 P.S.I)	16.31 mA	15.24
PC4	16.5 bar (240 P.S.I)	15.2 bar (220 P.S.I)	17.3 mA	15.55 mA
T1	0° C	2° C	8.21 mA	7.77 mA
T2	0° C	3° C	8.43 mA	7.77 mA
T3	0° C	3.5° C	8.54 mA	7.77 mA
T4	0° C	4° C	8.65 mA	7.77 mA
P1	4.5 bar (65 P.S.I)	10 bar (145 P.S.I)	10.76 mA	17.53 mA
P2	4 bar (58 P.S.I)	6.9 bar (100 P.S.I)	3.75 VCD	7.37 VCD
P3	4.6 bar (67 P.S.I)	4.5 bar (65 P.S.I)	10.88	10.76 mA
HR	90% HR	95% HR	9 VCD	9.5 VCD

A.7 Reporte de bloques del proyecto final

Número de bloque (tipo)	Parámetro																		
AI1(Entrada analógica) : Transductor de baja presión																			
AI2(Entrada analógica) : Transductor de alta presión																			
AI3(Entrada analógica) : Transductor de temperatura																			
AI4(Entrada analógica) : Transductor de presión de aire																			
AI5(Entrada analógica) : Transductor de presión de agua																			
AI6(Entrada analógica) : Transductor de Humedad Relativa H2O%																			
B001 TPB (Amplificador analógico) :	Gain =2.0- Offset=0 Point =2																		
B002 TPA (Amplificador analógico) :	Gain =2.0- Offset=0 Point =2																		
B003 TT (Amplificador analógico) :	Gain =2.0- Offset=0 Point =2																		
B004 TPA (Amplificador analógico) :	Gain =2.0- Offset=0 Point =2																		
B005 TPA (Amplificador analógico) :	Gain =1.0- Offset=0 Point =2																		
B006 (Amplificador analógico) :	Gain =1.0- Offset=0 Point =2																		
B007 PB (Conmutador analógico de valor de umbral) : Compresor	Gain=1.0- Offset=0 On=1243 Off=942 Point=2																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Autor:</td> <td style="width: 25%;">Mario Espinosa y Leonardo Carrillo</td> <td style="width: 25%;">Proyecto:</td> <td style="width: 25%;">Programa de control de un</td> </tr> <tr> <td>Comprobado:</td> <td>FES ARAGON</td> <td>Instalación:</td> <td>Frigorifico</td> </tr> <tr> <td>Creado/Modificado:</td> <td>2/09/08 22:10/16/09/08 13:40</td> <td>archivo:</td> <td>frigorifico2.lsc</td> </tr> </table>	Autor:	Mario Espinosa y Leonardo Carrillo	Proyecto:	Programa de control de un	Comprobado:	FES ARAGON	Instalación:	Frigorifico	Creado/Modificado:	2/09/08 22:10/16/09/08 13:40	archivo:	frigorifico2.lsc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Cliente:</td> <td style="width: 25%;">UNAM</td> </tr> <tr> <td>Nº diagrama:</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Página:</td> <td>3</td> </tr> </table>	Cliente:	UNAM	Nº diagrama:	1	Página:	3
Autor:	Mario Espinosa y Leonardo Carrillo	Proyecto:	Programa de control de un																
Comprobado:	FES ARAGON	Instalación:	Frigorifico																
Creado/Modificado:	2/09/08 22:10/16/09/08 13:40	archivo:	frigorifico2.lsc																
Cliente:	UNAM																		
Nº diagrama:	1																		
Página:	3																		

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B008 PA(Conmutador analógico de valor de umbral) : alta presion	Gain=1.0- Offset=0 On=681 Off=1783 Point=2
B009 PC1(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1418 Off=1388 Point=2
B010 PC2(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1524 Off=1418 Point=2
B011 PC3(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1631 Off=1524 Point=2
B012 PC4(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1730 Off=1555 Point=2
B013 T1(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=821 Off=777 Point=2
B014 T2(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=843 Off=777 Point=2
B015 T3(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=854 Off=777 Point=2
B016 T4(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=865 Off=777 Point=2
Autor:	Mario Espinosa y Leonardo Carrillo
Comprobado:	FES ARAGON
Creado/Modificado:	2/09/08 22:10/16/09/08 13:40
Proyecto:	Programa de control de un
Instalación:	Frigorifico
archivo:	frigorifico2.lsc
Ciente:	UNAM
Nº diagrama:	1
Página:	4

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B008 PA(Conmutador analógico de valor de umbral) : alta presion	Gain=1.0- Offset=0 On=681 Off=1783 Point=2
B009 PC1(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1418 Off=1388 Point=2
B010 PC2(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1524 Off=1418 Point=2
B011 PC3(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1631 Off=1524 Point=2
B012 PC4(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=1730 Off=1555 Point=2
B013 T1(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=821 Off=777 Point=2
B014 T2(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=843 Off=777 Point=2
B015 T3(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=854 Off=777 Point=2
B016 T4(Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0- Offset=0 On=865 Off=777 Point=2
Autor:	Mario Espinosa y Leonardo Carrillo
Comprobado:	FES ARAGON
Creado/Modificado:	2/09/08 22:10/16/09/08 13:40
Proyecto:	Programa de control de un
Instalación:	Frigorifico
archivo:	frigorifico2.lsc
Ciente:	UNAM
Nº diagrama:	1
Página:	4

Número de bloque (tipo)	Parámetro					
B027 (Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0+ Offset=0 On=1070 Off=1076 Point=2					
B028 (Texto de aviso) :	Prio = 3 Quit = off PRESION AIRE BAJA (B027-Ax,) -65 PSI					
B029 (Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0+ Offset=0 On=370 Off=375 Point=2					
B030 (Texto de aviso) :	Prio = 4 Quit = off PRESION DE AGUA BAJA (B029-Ax,) -58 psi					
B031 (Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0+ Offset=0 On=880 Off=900 Point=2					
B032 (Texto de aviso) :	Prio = 5 Quit = off HUMEDAD BAJA (B031-Ax,) - 90%HR					
B034 relo 1 (Temporizador semanal) :	- MTWTFSS 09:00h 08:00h MTWTFSS 17:00h 16:00h MTWTFSS 23:59h 20:00h					
Autor:	Mario Espinosa y Leonardo Carrillo	FES ARAGON	Proyecto:	Programa de control de un	Cliente:	UNAM
Comprobado:			Instalación:	Frigorifico	N° diagrama:	1
Creado/Modificado:	2/09/08 22:10/16/09/08 13:40		archivo:	frigorifico2.lsc	Página:	6

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B027 (Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0+ Offset=0 On=1070 Off=1076 Point=2
B028 (Texto de aviso) :	Prio = 3 Quit = off PRESION AIRE BAJA (B027-Ax,) -65 PSI
B029 (Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0+ Offset=0 On=370 Off=375 Point=2
B030 (Texto de aviso) :	Prio = 4 Quit = off PRESION DE AGUA BAJA (B029-Ax,) -58 psi
B031 (Conmutador analógico de valor de umbral) :	Gain=1.0+ Offset=0 On=880 Off=900 Point=2
B032 (Texto de aviso) :	Prio = 5 Quit = off HUMEDAD BAJA (B031-Ax,) - 90%HR
B034 reloj (Temporizador semanal) :	- MTWTFSS 09:00h 08:00h MTWTFSS 17:00h 16:00h MTWTFSS 23:59h 20:00h
Autor:	Mario Espinosa y Leonardo Carrillo
Comprobado:	FES ARAGON
Creado/Modificado:	2/09/08 22:10/16/09/08 13:40
Proyecto:	Programa de control de un
Instalación:	Frigorifico
archivo:	frigorifico2.lsc
Ciente:	UNAM
Nº diagrama:	1
Página:	6

Número de bloque (tipo)	Parámetro
Q2 (Salida) : Motocompresor 2	
Q3 (Salida) : Motocompresor 3	
Q4 (Salida) : Motocompresor 4	
Q5 (Salida) : ventilador de condensador 1	
Q6 (Salida) : Ventilador de condensador 2	
Q7 (Salida) : Ventilador de condensador 3	
Q8 (Salida) : ventilador de condensador 4	
Q9 (Salida) : Compresor de aire	
Q10 (Salida) : Bomba de agua	
Q11 (Salida) : Valvula solenoide del drenaje	
Q12 (Salida) : Valvula solenoide del agua	
Q13 (Salida) : Valvula solenoide del aire	
Autor:	Mario Espinosa y Leonardo Carrillo
Comprobado:	
Creado/Modificado:	2/09/08 22:10/16/09/08 13:40
FES ARAGON	Proyecto:
Instalación:	Programa de control de un Frigorífico
archivo:	frigorifico2.lsc
Cliente:	UNAM
Nº diagrama:	1
Página:	8

A.8

Tabla comparativa de costos, con PLC y sin PLC

Utilizando lógica de relevadores				Utilizando LOGO!			
Dispositivo a utilizar	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Dispositivo a utilizar	Cantidad	Costo unitario	Costo total
		(pesos)	(pesos)			(pesos)	(pesos)
PLC LOGO!	0	0	0	PLC LOGO!	1	2,000	2,000
Interruptor diferencial de presión	4	900	3,600	Interruptor diferencial de presión	4	9,00	3,600
Presostato de Baja presión	4	600	2,400	Presostato de Baja presión	0	0	0
Sensor de baja presión	0	0	0	Sensor de baja presión	1	1,200	1,200
Presostato de alta presión	8	650	2,600	Presostato de alta presión	0	0	0
Sensor de alta presión	0	0	0	Sensor de alta presión	1	1300	1300
Termostato	4	700	2,800	Termostato	0	0	0
Sensor de temperatura y humedad	0	0	0	Sensor de temperatura y humedad	1	1,400	1,400
Humidostato	1	900	900	Humidostato	0	0	0
Relevador con retardo al arranque (ON-DELAY)	4	500	2,000	Relevador con retardo al arranque (ON-DELAY)	0	0	0
Bloque temporizado con retardo al arranque (ON-DELAY)	0	0	0	Bloque temporizado con retardo al arranque (ON-DELAY)	4	0	0
Interruptor horario (reloj de deshielo)	4	1,500	6,000	Interruptor horario (reloj de deshielo)	0	0	0
Bloque temporizador semanal	0	0	0	Bloque temporizador semanal	4	0	0
Relevador con retardo al apagado (OFF-DELAY)	1	500	500	Relevador con retardo al apagado (OFF-DELAY)	0	0	0
Bloque temporizado con retardo al apagado (OFF-DELAY)	0	0	0	Bloque temporizado con retardo al apagado (OFF-DELAY)	1	0	0
Presostato de presión de aire	2	400	800	Presostato de presión de aire	0	0	0
Sensor de presión de aire	0	0	0	Sensor de presión de aire	1	600	600
Presostato de presión de agua	1	500	500	Presostato de presión de agua	0	0	0
Sensor de presión de agua	0	0	0	Sensor de presión de agua	1	600	600
Costo total			22,100	Costo total			10,700

BIBLIOGRAFÍA.

1. A Fondo: Robótica y sistemas automáticos.

Neil M. Shmitt y Robert F, Farwell.
Ediciones Anaya Multimedia S.A, 1988.

2. Autómatas Programables

Adre Simón.
Editorial Paraninfo S.A

3. Autómatas Programables

Joseph Balcells y José Luis Romeral.
Serie Mundo Eléctrico.
Marcombo Boixareu editores.

4. Ingeniería de control moderna.

Katsuko Ogata.
Editorial Prentice-Hall Hispano América S.A

5. Técnica de los sistemas electrónicos de mando y regulación.

Hang-Joacchim Siegfried
Marcombo Boixareu editores.

6. Tratado práctico de refrigeración automática

José Alarcón Creus
Editorial Alfaomega marcombo

Mesografía.

1. **www.danfoss.com**
2. **www.emerson.com**
3. **www.embraco.com**
4. **www.honeywell.com**
5. **www.mayekawa.com**.
6. **www.siemens.com**
7. **www.valycontrol.com**
8. **www.vancontrols.com**