



UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
Departamento de Ingeniería Eléctrica

CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE AUTOMATIZACIÓN

Actualizado al 24 de abril de

2003

Mauricio Vanín Freire
Ingeniero Civil Electricista

Alvaro Waman Moraga
Ingeniero Civil Electricista

Oscar Páez Rivera
Profesor Asociado
Departamento de Ingeniería Eléctrica

Índice

a.- Introducción

b.- Elementos de circuitos

c.- Circuitos eléctricos de fuerza

d.- circuitos elementales de control

e.- Planos de alambrado

f.- Otros planos eléctricos

g.- Aplicaciones

A.- INTRODUCCIÓN

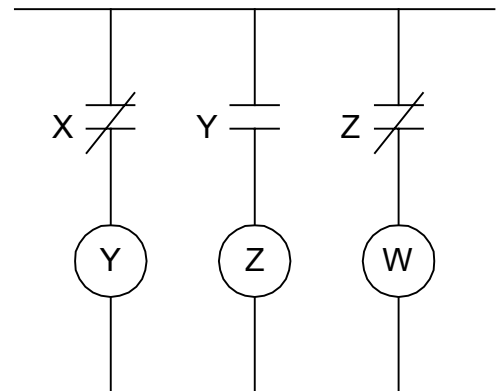
Uno de los aspectos más importantes en la automatización es llegar a establecer los circuitos que componen un proyecto de automatización. Entre los circuitos de interés se encuentran los circuitos eléctricos de control, circuitos de fuerza, circuitos neumáticos, circuitos hidráulicos, circuitos digitales, etc. En particular este documento describe los circuitos eléctricos, dando a conocer los componentes más importantes presentes en los circuitos de este tipo, con un énfasis en la simbología, fundamental para el ingeniero a la hora de interpretar un plano o más importante aún al momento de diseñar su propio proyecto.

En general los circuitos eléctricos están conformados por:

- i. Fuerzas electromotrices, ya sea de potencia (redes trifásicas), de comando (voltajes de control o comando) o de señal (polarización)
- ii. Elementos de protección (fusibles y otros)
- iii. Elementos finales de fuerza (motores) y elementos finales de comando y señalización (contactores, relays, electroválvulas, luces pilotos).
- iv. Elementos de distribución (contactos). Estos contactos son manejados por relays generalizados; los contactos conmutan según el nivel de la variable de entrada. Un contacto del tipo normal abierto permanece en esa situación mientras la variable de entrada no alcanza el umbral de conmutación. Cuando conmute (se cierre) se dice que esta actuado. El contacto normal cerrado permanecerá así mientras no sea actuado.

Por principio, los planos, diagramas y esquemas eléctricos se dibujan elemento por elemento (ya sea de fuerza, comando o pilotaje). Para cada uno de ellos los elementos de distribución (contactos) se dibujan en estado de reposo, es decir, sin estar actuados (ver ejemplos más adelante)

Antes de examinar el diagrama de relé en la forma de operación lógica, es necesario siempre saber la condición de operación normal de los dispositivos para la correcta instalación de cada uno de ellos, en la figura NN dibujado según NEMA se aprecia que la bobina Y está activada si X está en su condición normal. La bobina Z no está activada si Y está en su condición normal; a su vez W estará activada si Z está en su condición normal. Otra cosa es la lógica del plano, la que encadena el estado de Y; Z: W al estado de X.



Tipos de planos:

Los planos eléctricos usualmente utilizados son: plano general de fuerza **unilineal**; plano de fuerza multifilar de motores y planos de comando. Estos últimos también se llaman Diagramas elementales de control o planos de eléctricos de control.

En el ámbito de lógica cableada, se acostumbra a representar en una misma lamina el circuito eléctrico multifilar y el circuito eléctrico de comando(planos europeos). El circuito de comando se dibuja a la derecha y separado del circuito de fuerza.

Cuando se emplean Automatas Programables los circuitos de comando se muestran en planos llamados Diagramas elementales de control.

B.- ELEMENTOS DE CIRCUITOS

B1 Fusibles

Definición

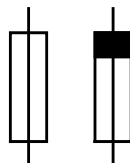
Dispositivos de seguridad utilizados para proteger un circuito eléctrico de un exceso de corriente. Su componente esencial es, habitualmente, un hilo o una banda de metal que se derrite a una determinada temperatura. El fusible está diseñado para que la banda de metal pueda colocarse fácilmente en el circuito eléctrico. Si la corriente del circuito excede un valor predeterminado, el metal fusible se derrite y se rompe o abre el circuito. Los dispositivos utilizados para detonar explosivos también se llaman fusibles.

Como especificar un Fusible

Para especificar un fusible se aconseja proporcionar la siguiente información:

1. Curva de amperaje del fusible.
2. Voltaje máximo a ser utilizado o el nominal indicado.
3. Tipo de fusión o accionamiento (rápido, lento, ultra rápido, etc.).
4. Forma del cuerpo del fusible (cartucho cilíndrico, de cuchilla, apernado, etc.) mejor aún si adjunta un plano o dibujo.
5. Las dimensiones del fusible (diámetro de los casquillos, largo del cuerpo, distancia entre centros de las perforaciones para apernar, etc.).
6. Marca y/o el código del fusible a reemplazar

Símbolos



B2 Protecciones Electromagnéticas

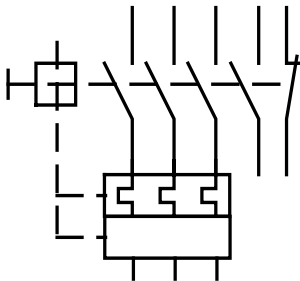
Son dispositivos diseñados para interrumpir circuitos de corriente bajo condiciones anormales, sin sufrir avería alguna (como es el caso del fusible), y quedando en perfectas condiciones de funcionamiento para posteriores maniobras, aunque también se puede utilizar como simple interruptor sin necesidad que se hayan producido anomalías de corriente. Sin embargo, la capacidad de maniobras (número de maniobras posible) es más bien limitada oscilando alrededor de 10.000 y 20.000 operaciones.

Las protecciones magnetotérmicas pueden utilizarse como protección contra cortocircuitos y sobrecargas de los conductores en cualquier tipo de instalación industrial llevada a cabo con secciones de conductor adecuadas a la capacidad nominal de los aparatos.

Estos dispositivos se especifican de acuerdo a ciertas variables importantes a tener en cuenta. Se especifican de acuerdo a:

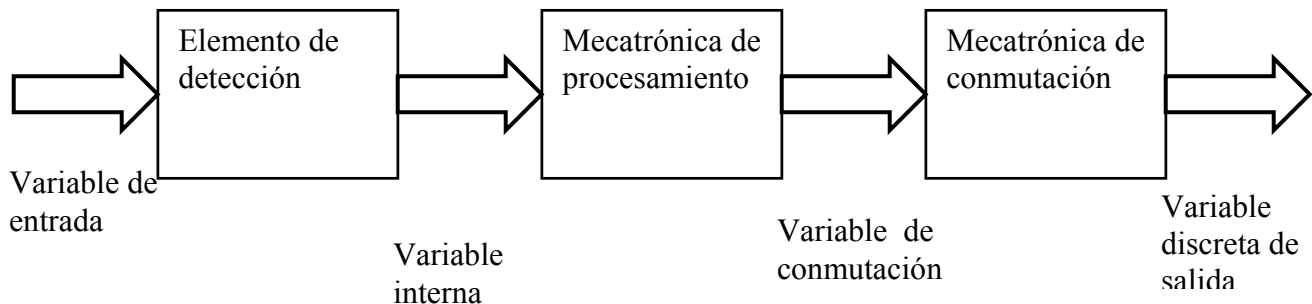
- **Aplicaciones:** protección de los circuitos contra cortocircuitos y sobre cargas
- **Tensión nominal de empleo:** 220 Vac, 380 Vac, etc.
- **Curvas de disparo**
- **Capacidad de ruptura**
- **Número de operaciones**
- **Tropicalización:** humedad y temperatura
- **Conexiones**
- **Instalación:** sobre riel, etc.

Su símbolo según norma ISO es el de la figura.



B3 Relays**Definición del Relay (relé)**

Dispositivo que produce cambios de estados, de salida, en si mismo por acción directa de alguna variable de entrada. Por ejemplo, relay electromagnético (variable: corriente), relay térmico (variable: temperatura) , presóstato (variable: presión), limite de carrera(variable: desplazamiento), etc.

Estructura general de un relé

Variable de entrada: es la variable que se desea detectar en su amplitud

Variable interna: es la variable que el relé mide realmente y que es representativa de la variable de entrada.

Variable de conmutación: es la variable actuada por la variable interna y que al llegar a un cierto valor de esta variable la salida toma un valor activo

Variable discreta de salida: esta variable tendrá dos estados, activo o no activo.

Ejemplos:

Presóstato: Dispositivo que al superar un rango de presión activa su salida. La variable de entrada es la presión. Su variable interna es la fuerza ejercida sobre un fuelle o diafragma. La variable de conmutación es el desplazamiento y la variable discreta de salida son contactos del tipo normal abierto (NA) y normal cerrado (NC).

Detector de proximidad magnético: Dispositivo que al sentir la presencia de un cuerpo activa su salida. Su variable de entrada es la distancia. La variable interna es la frecuencia de un circuito resonante. La variable de conmutación es la corriente de base de un transistor (NPN, PNP) y su variable discreta de salida es la alta o baja impedancia entre sus extremos de salida.

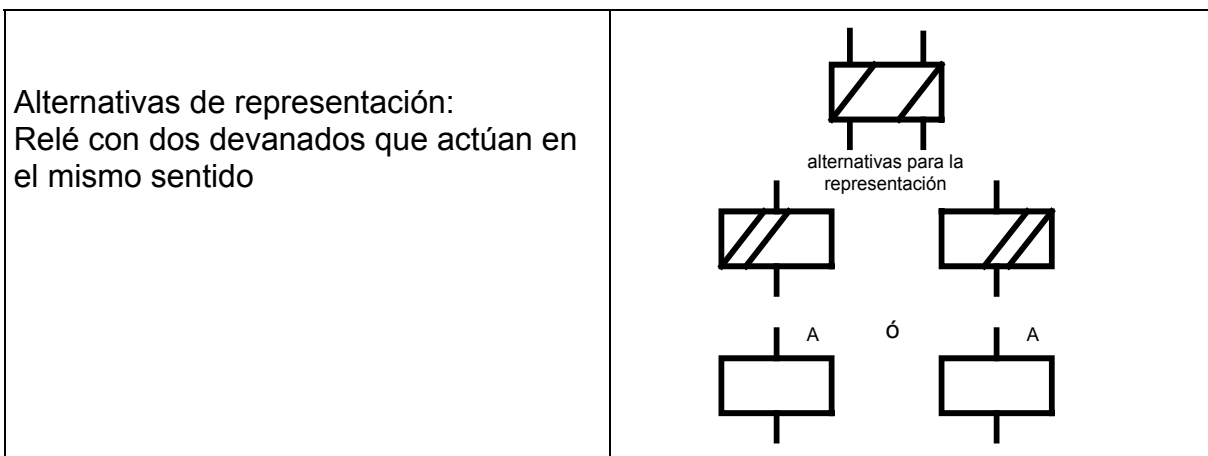
Se especifican

Atendiendo a las necesidades del proyecto, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros

Especificación técnica de un relay electromagnético

| | |
|---------------------------|---|
| Valuación del contacto | N/C: 30A/14Vdc N/O: 40A/14Vdc 50-500W (dependiendo de voltaje) |
| Frecuencia de conmutación | 20Hz max. |
| Consumo | 1.4W (12V) / 1.8W (24V) |
| Max. Voltaje | contacto - el contacto: 500V a.c. (1 minuto) |
| Material del contacto | aleación color de plata |
| Vida de servicio | mecánico: 10^6 funcionamientos eléctrico: 10^5 funcionamientos |
| Dimensiones (mm) | L.26 x H.25 x W.22 |
| Rango de temperatura | -40°C a +85°C |

Simbología DIN del relé



Para una mayor información respecto al tema consultar el tópico del relé [\(rele.pdf\)](#)

B4 Contactor

Definición

Según la norma DIN (0660/52), el contactor “es un interruptor electromagnético mandado a distancia que vuelve a la posición de reposo cuando la fuerza de accionamiento deja de actuar sobre él”.

También se puede definir un contactor como un aparato de conexión eléctrica, accionado por cualquier forma energética, menos manual, capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluso las de sobrecarga.

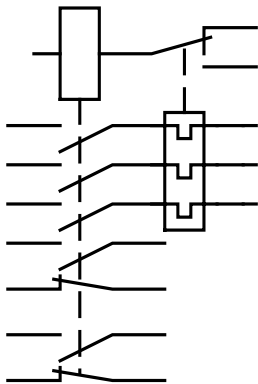
Especificaciones

Los contactores están normalizados por ejemplo C09; C12; C16.....etc., para especificarlos debe considerarse:

- a. En la puerta de bobina: Voltaje de alimentación (valor nominal y el tipo de onda) y potencia de consumo (va)
- b. En la puerta de los contactos: El nivel de exigencia (clase de servicio) a los contactos de fuerza se clasifica en los tipos AC-1 , AC-2 ,AC-3 y AC-4. Se debe especificar la clase de servicio y la corriente que debe manejar en dicha clase.

Donde se usan:

Se usan para manejar la partida y parada de motores, conexiones de bancos de condensadores, electroimanes, frenos electromagnéticos etc.



Para una mayor información respecto al tema consultar [el tópico del contactor \(contactores.pdf\)](#)

B5 Otros elementos

Otros elementos utilizados normalmente en los circuitos eléctricos son las solenoides aplicadas a electroválvulas, los frenos magnéticos y los electroimanes. En general todos estos elementos poseen una bobina de solenoide y una puerta de trabajo (contacto).

Especificación

Se especifican considerando la solenoide y su puerta de trabajo. En el caso del solenoide al tener las mismas características de los contactores y los relays su especificación se realiza de la misma manera. En cuanto a su puerta de trabajo o accionamiento dependerá de cada dispositivo, no siendo parte del alcance de este documento.

B6 Relay electromagnético

El relay electromagnético presenta características de funcionamiento similares al contactor, con la salvedad que sus contactos están diseñados para la circulación de magnitudes de corriente menores (típicamente 5_A). Normalmente se les llama de control porque se emplean para llevar a cabo pequeñas lógicas de control.

Parte electromagnética:

Corriente de excitación.- Intensidad, que circula por la bobina, necesaria para activar el relé.

Tensión nominal.- Tensión de trabajo para la cual el relé se activa.

Tensión de trabajo.- Margen entre la tensión mínima y máxima, garantizando el funcionamiento correcto del dispositivo.

Consumo nominal de la bobina.- Potencia que consume la bobina cuando el relé está excitado con la tensión nominal a 20°C.

Contactos o parte mecánica

Tensión de conexión.- Tensión entre contactos antes de cerrar o después de abrir.

Intensidad de conexión.- Intensidad máxima que un relé puede conectar o desconectar.

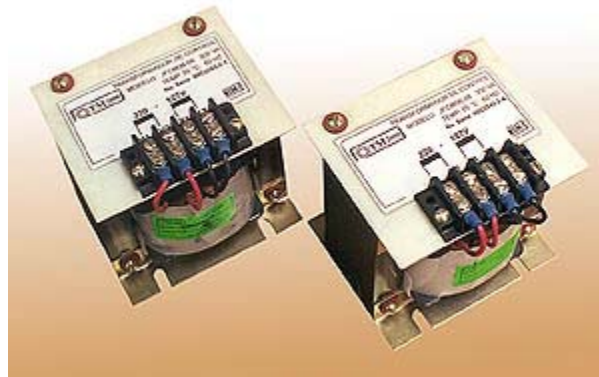
Intensidad máxima de trabajo.- Intensidad máxima que puede circular por los contactos cuando se han cerrado.

B6 Relays inteligentes

Tal como se señaló en el punto anterior, los relays se emplean para llevar a cabo lógicas de control de los contactores que manejan elementos finales (motores). Hoy en día la tecnología permite integrar un cierto número de relays por hardware con otra cantidad muy superior de relays virtuales programables, lo que permite dotar de inteligencia a estos relays virtuales. Un ejemplo de estos relays inteligentes es Logo de Siemens.

B7 Transformadores de control

Se utilizan para aislar las tierras y así se asegura un potencial nulo tanto el tierra de servicio como el la de protección. Nunca se usa fase-neutro a tierra de la red de potencia, se requieren del vivo y neutro de control por las razones explicadas al comienzo, los secundarios son apantallados a tierra, con el fin de proteger los instrumentos y a los operadores. Dado que por lo general se usa corriente continua la contaminación armónica de la red de control es significativa cuando se consume mucha energía por ejemplo la red rectificadora de los trenes subterráneos.



Aspectos constructivos

- Núcleo. Es de acero al silicio de alta permeabilidad y recocida para minimizar pérdidas y corriente de excitación.
- Bobinas. Devanadas con alambre magneto de cobre con doble aislamiento de esmalte grado 200, empleando únicamente productos de marcas reconocidas. Los aparatos de 1000 a 2000 VA se fabrican con devanados entrelazados para mejorar la regulación de voltaje.
- Aislamientos. Se devana sobre un carrete de nylon; entre devanados y entre capas se colocan aislamientos ,estos materiales no absorben humedad, no

propagan las flamas y garantizan permanentemente una resistencia de aislamiento entre devanados y al núcleo mayor a los 2000 megohmios.

- Temperatura. Elevación de temperatura en los devanados:
 - 50 a 750 VA Elevación 55°C, máxima 105°C, aislamientos.
 - 1000 a 2000 VA Elevación 80°C, máxima 130°C, aislamientos.

Al limitar la elevación de temperatura por debajo de la resistencia térmica de los conductores y aislamientos, se obtiene una excelente capacidad a sobre cargas

C.- CIRCUITOS ELÉCTRICOS DE FUERZA

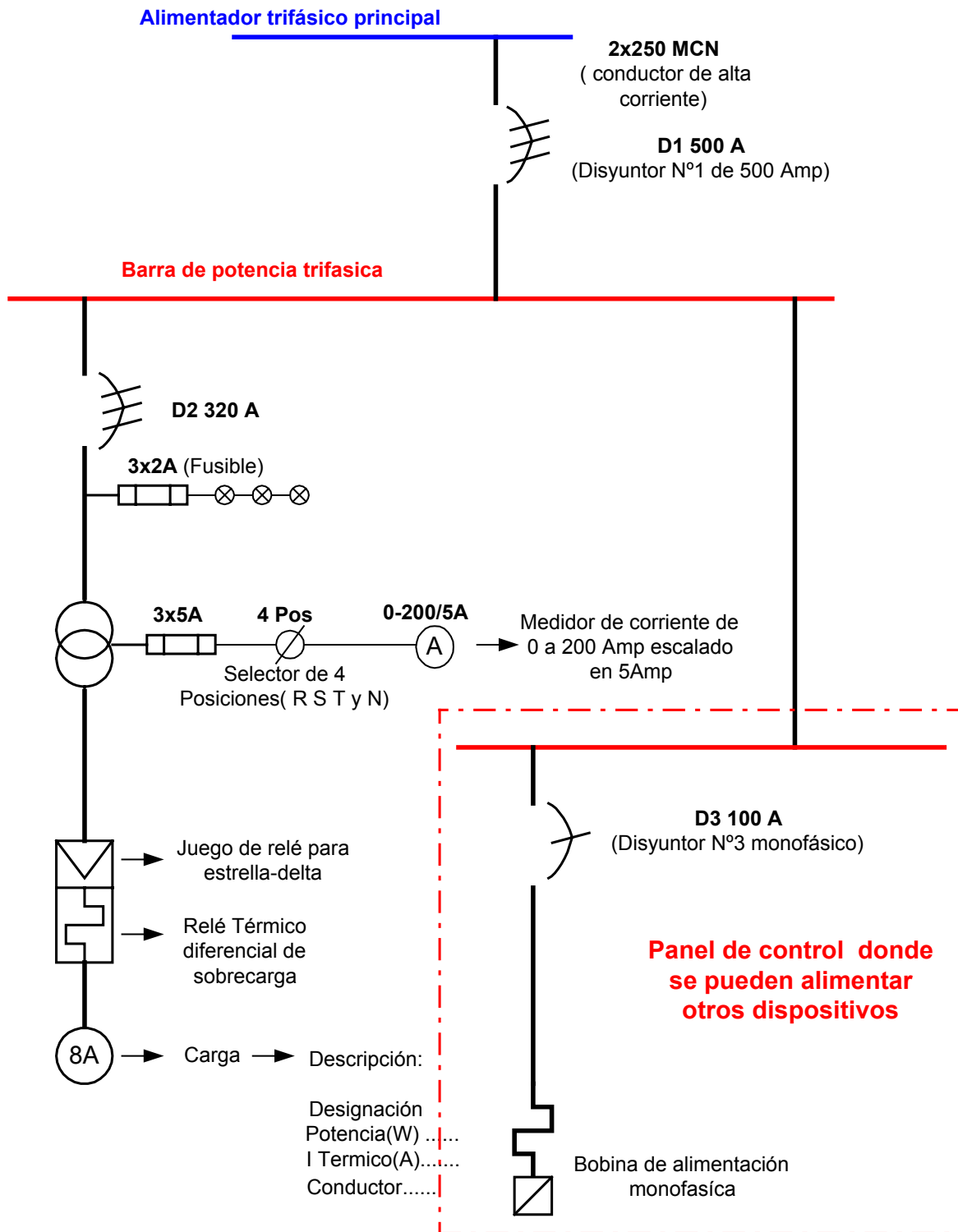
Diagrama Unilineal

El diagrama unilineal es una representación simplificada desde el punto de vista del circuito eléctrico, pero detallada de los dispositivos de fuerza involucrados: tipo de cables, descripciones de los elementos etc.

Se representa por una línea de alimentación la cual toma energía desde una barra de potencia la que distribuye la energía hacia otros dispositivos que la demandan. Su utilidad se observa en la manera clara de representar un plano eléctrico, como es usual la simbología está normada, para el ejemplo que se describe, el diagrama esta normada según DIN, por simplicidad del ejemplo se ha hecho una breve descripción de este, ya que por lo general se documentan en un formato de hoja A3 que es significativamente más grande que la exhibida donde se incluyen todos los elementos luces pilotos, motores, instrumentos, contactos, conductores etc.

Los elementos que toman energía desde el alimentador principal, se van hacia un panel donde alimentan otros dispositivos de usos industriales ya sean monofásicos como trifásicos, en el caso particular se ha descrito con una línea punteada roja que representa que es otro panel. Así mismo se representan diferentes paneles tales como el control del factor de potencia, que por lo general posee algún tipo de inteligencia o lógica a seguir

Diagrama Unilineal (Ejemplo)

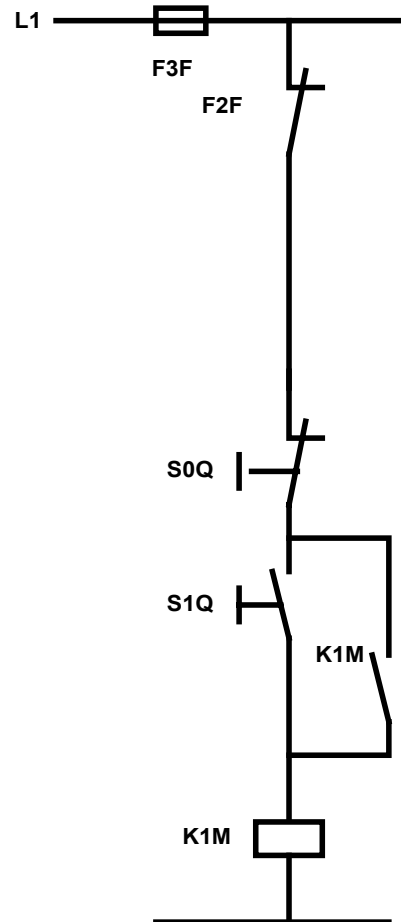


D.- PLANOS ELEMENTALES DE CONTROL

El diagrama elemental de control es un plano que debe representar el circuito seguido por la corriente de excitación de los contactores de control. La forma más cómoda de representar estos circuitos es establecer los caminos entre dos barras (vivo y neutro) lo que se conoce como diagrama escalera y que corresponde también a la representación de los circuitos eléctricos de control.

Puede que el diagrama elemental de control entregue mayor cantidad de información si se considera los tag de los bornes de alambrado y la ubicación geográfica de los elementos.

La figura muestra una configuración usual de un elemental de control. Representa una partida/parada manual.



E.- PLANOS DE ALAMBRADO

En la ejecución de un proyecto participan maestros que deben alambra los tableros de control : para ello deben generarse los planos respectivos.

En los tableros se emplean unos conectores apilables llamados borneras, es conveniente darle un código numérico a cada una de ellas, este número se les da también a los cables que se deben conectar a ella. Así, cada bornera tiene dos números: el ordinal correlativo en la regleta en que se monta y el código.

Codificación

La codificación es un método, que mediante símbolos , identifica cables, bornes, etc. No obstante, lo que en ultima instancia se desea relacionar son los elementos importantes de los circuitos.

La existencia de un PLC o cualquier otro autómatas basado en un microprocesador implica necesariamente un conjunto de entradas (tabla de entradas) y salidas (tabla de salidas) de dicho autómatas. Las salidas de un PLC están destinadas a alimentar bobinas y luces pilotos.

En la codificación que se propone, se privilegian las salidas y entradas del PLC como fuente del código. Además se asigna un dígito para los bornes de tensión principales (en pares para vivo y neutro). Dos dígitos para bornes de construcción de circuitos de alimentación.

Descripción:

Con objeto de determinar el número de dígitos a emplear, debe distinguirse si el número de entradas no supera a 64, o si las salidas totales del PLC no superan a 64, (máximo 128 entradas y salidas) se habla entonces de una automatización pequeña , lo que implicará una codificación en base a tres dígitos. El primero asociado a una función y los dos últimos asociados a una dirección del PLC.

Con objeto de determinar el número de dígitos a emplear, se debe distinguir si el número de entradas o salidas totales del PLC es mayor que 64, y no supera a 512 (considerando por separado a las entradas y a las salidas) se habla entonces de una automatización mediana, lo que implicará una codificación en base a cuatro dígitos. El primero asociado a una función y los tres últimos asociados a una dirección del PLC.

Codificación para una Instrumentación pequeña

Se propone la siguiente asignación numérica para las borneras

| | |
|------|--|
| 1 | Vivo control de salidas (actuación , típico 220 vac) |
| 0 | Neutro control de salidas |
| 3 | Vivo control entradas (comando, típico 24 vdc) |
| 2 | Neutro control entradas |
| 5 | Otro vivo de control |
| 4 | Otro neutro de control |
| NM | Borneras de circuitos de alimentación |
| 1 NM | Bobina manejada por el PLC |
| 0 NM | Piloto u otro elemento manejado por el PLC |
| 2 NM | contacto involucrado en la lógica de la bobina NM |
| 3 NM | contacto involucrado en la lógica de la bobina NM |

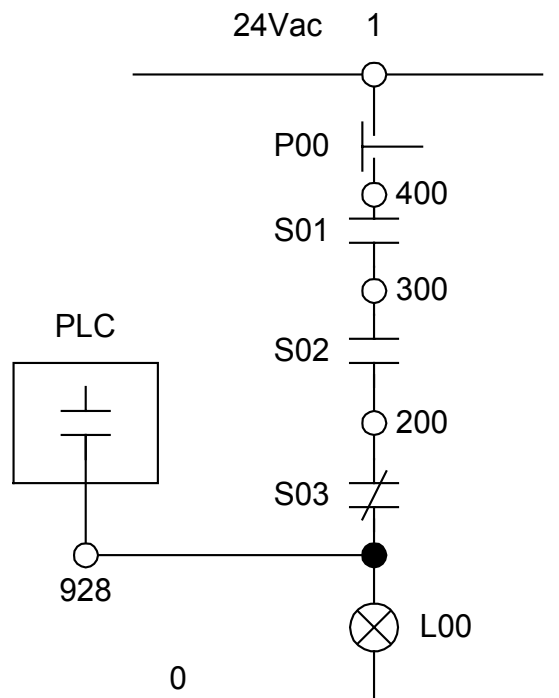
| | |
|------|---|
| 4 NM | contacto involucrado en la lógica de la bobina NM |
| 5 NM | contacto involucrado en la lógica de la bobina NM |
| 6 NM | contacto involucrado en la lógica de la bobina NM |
| 7 NM | Punto medio de botonera partida parada involucrado en la lógica de la bobina NM |
| 8 NM | Entrada al PLC |
| 9 NM | Salida del PLC |

Codificación para una Instrumentación pequeña

Se propone usar la tabla anterior reemplazando NM por LNM correspondiente a la dirección del PLC en juego.

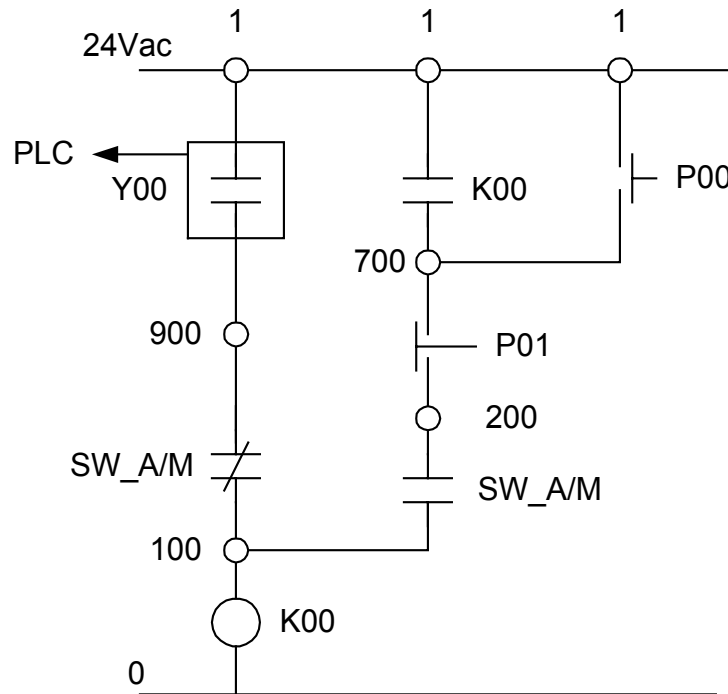
Ejemplo 1

Indicador de energía (por medio de una luz L00) , comandado a través de un PLC o manualmente con lógica cableada.



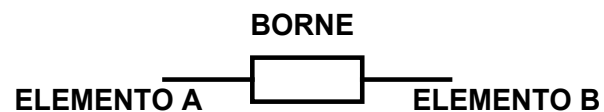
Ejemplo 2

Un partir / parar ya sea automáticamente o bien manualmente con lógica cableada



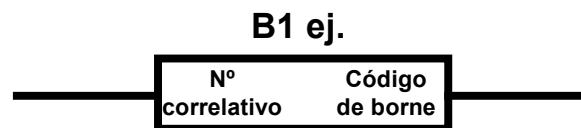
Representación

El plano de alambrado se basa en el correcto orden de los cables existentes en el trazado de un proyecto. El elemento principal es una bornera que hace de puente entre los diferentes elementos y cumple con la función de ordenar, en un solo punto, el cableado.

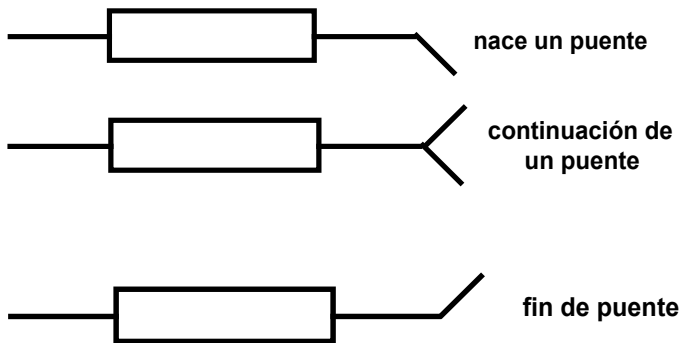


Físicamente los bornes están conectados en una regleta. Cada regleta debe llevar un nombre distintivo, por ejemplo B-1 (board 1).

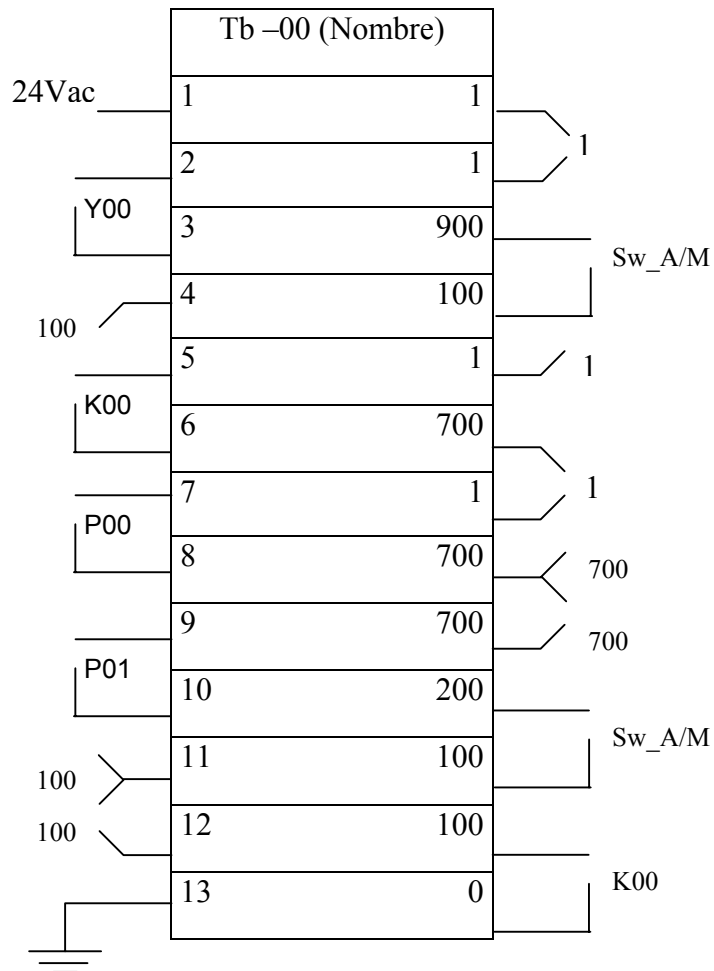
Cada borne debe llevar dos números en su interior. En el lado izquierdo se coloca la numeración correlativa de las borneras y al lado derecho el código del borne designado en el paso anterior.



Para conectar un mismo punto en dos borneras lejanas se utilizan los puentes, los que se designan como se indica a continuación.



Para el segundo ejemplo
 Partir _ Parar
 Automático/ Manual



F.- OTROS PLANOS ELECTRICOS

Además de los planos antes mencionados, que son los más utilizados en proyectos de ingeniería, se suman otros tipos de planos. Los circuitos electrónicos y los circuitos digitales son especialmente útiles cuando se desea mostrar alguna lógica específica (por ejemplo: combinación de compuertas and y or para la partida en un motor) en el caso de los circuitos digitales o cuando se quiere mostrar una configuración electrónica específica en el caso de los circuitos electrónicos.

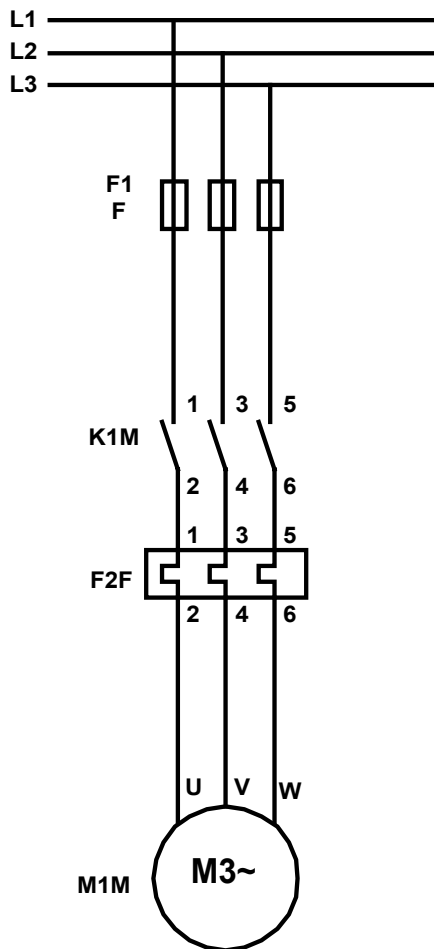
G.- APLICACIONES

Los esquemas de conexión que a continuación se describen, comprenden planos de circuitos de fuerza y de comando de utilización frecuente.

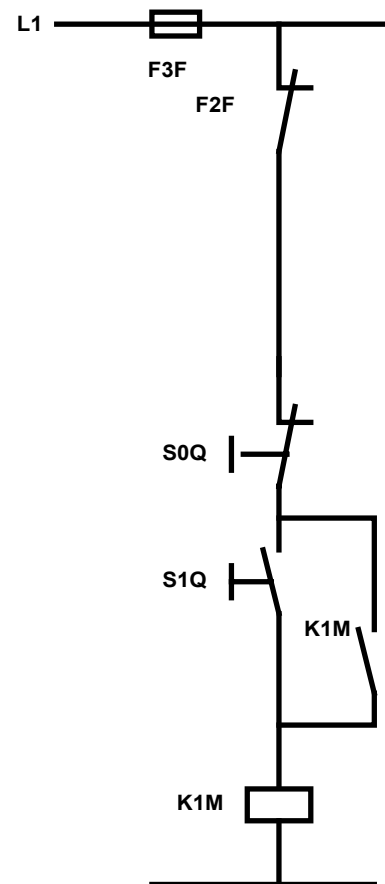
d.1.- Circuitos comando de motores

1.- conexión y desconexión de motores trifásicos

El pulsador S1Q energiza la bobina del contactor K1M, el contacto de autorretención cierra y el motor arranca. El pulsador S0Q abre el circuito de autorretención, los contactos abren y el motor se detiene.



Circuito de fuerza



2.- Cambio del sentido de giro de motores trifásicos

El pulsador S1B energiza la bobina del contactor K1B, el contacto de autorretención de K1B cierra y el motor arranca girando en un sentido. Cuando se acciona el pulsador S2B, su contacto NC desconecta el contactor K1B al mismo tiempo que el contacto NA del mismo pulsador da la orden de conexión del contactor K2B. Dicha orden es efectiva hasta que haya cerrado el contacto NC del contactor K1B. El motor frena y arranca girando a la izquierda. Al momento de accionar el pulsador S0Q, se abre el circuito de alimentación de los contactores K1B y K2B, el contactor que se encontraba conectado desconecta y el motor se detiene.

