

## Educación Continua

Nombre del Curso:

Electricidad Básica

30 horas

Nombre del Instructor:

M.C. Francisco Ruvalcaba Granados

## Objetivo del Curso

Ofrecer capacitación teórica y práctica en el área de electricidad industrial al personal técnico.

# Índice

## **CAPÍTULO 1. Electricidad Básica**

1.1 Principios de Electricidad

1.2 Corriente directa (CD).

1.3 Corriente alterna (CA).

1.4 Circuito serie.

1.5 Circuito paralelo.

1.6 Ley de Ohm

1.7 Potencia y energía.

## **CAPITULO 2. Mediciones eléctricas.**

2.1 Multímetro

2.2 Multímetro con funciones avanzadas

2.3 Medir Voltaje en C.A.

2.4 Voltamperímetro de gancho

## **CAPITULO 3. Control de Motores Eléctricos**

3.1 El Contactor, Aplicaciones del Contactor, Operadores Lógicos

3.2 Autoalimentación del Contactor

3.3 Interbloqueo entre Contactores

3.4 Contactores operados en secuencia

3.5 El Relé Térmico

3.6 Arranque manual Estrella/Delta

3.7 Inversor de marcha manual.

3.8 Temporizador con retardo a la excitación.

3.9 Control secuencial temporizado

3.10 Arranque automático Estrella/Delta

3.11 Arranques manual y automático con Resistencias Rotóricas

3.12 Arranque Estrella/Delta con Inversor de marcha

3.13 Detección de fallas

## CAPÍTULO 1. Electricidad Básica

### 1.1 Principios de Electricidad

#### Definición de energía eléctrica y seguridad eléctrica.

La electricidad es tan común en la vida cotidiana que para muchas personas su presencia solo es evidente cuando hace falta; sin embargo, está allí, recorriendo los miles de kilómetros de cables que llegan hasta los últimos rincones de fábricas y casas. Cada vez se depende más de la energía eléctrica y el consumo aumenta con nuevos equipos y necesidades, en consecuencia, se deben aumentar las exigencias de seguridad para los usuarios y los equipos; asimismo, por parte de los usuarios debe aumentar la conciencia sobre el ahorro y el uso eficiente de la energía como contribución a la conservación del medio ambiente.

El uso generalizado de la electricidad ha sido posible porque los medios tecnológicos permiten su manipulación de una forma segura, pero la propia naturaleza de la electricidad conlleva peligros que exigen un cuidadoso manejo preventivo, pues el hecho de que la energía eléctrica no se perciba directamente con los sentidos, aumenta la probabilidad de que ese peligro se manifieste en forma de un accidente. El cobre ha sido empleado como materia prima del material eléctrico debido a sus propiedades físicas. Otros metales que presentan las mismas propiedades pero a un grado diferente son la plata, el oro y el aluminio, y algunos metales raros como el tungsteno.

## Voltaje

Si el electrón libre ubicado en la última capa de los conductores, abandona las inmediaciones del átomo padre como se muestra en la figura, se establecen regiones de carga positiva y negativa. Esta separación de carga para establecer regiones de carga es la acción que ocurre en todas las baterías. Por medio de una acción química, se establece una fuerte concentración de carga positiva (iones positivos) en la terminal positiva, con una concentración igualmente fuerte de carga negativa (electrones) en la terminal negativa.

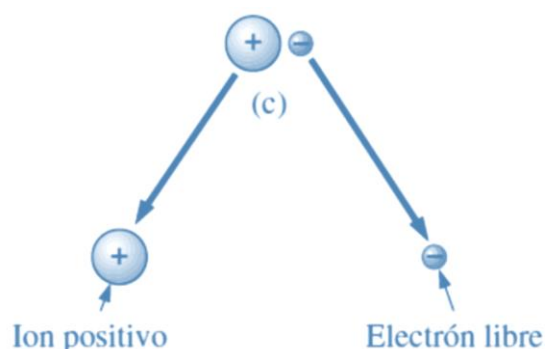


Figura 1. Ion Positivo y Electrón

Así, podemos definir una fuente de voltaje debido a la separación de las cargas positivas (iones positivos) y negativas (electrones). A mayor voltaje requerido, mayor será la cantidad de carga positiva y negativa. Hay varias formas de separar una carga para establecer el voltaje deseado. La más común es la acción química que se utiliza en las baterías automotrices y de linternas y, de hecho, en todas las baterías portátiles. Otras fuentes emplean métodos mecánicos, como generadores automotrices y plantas eléctricas de vapor, o bien fuentes alternativas como celdas solares y molinos de viento. Sin embargo, el único propósito del sistema es crear una separación de carga.

Otros nombres que recibe el voltaje son *tensión* o *diferencia de potencial*, esto es, la diferencia de tensión entre dos puntos distintos. Estos puntos pueden ser las dos terminales de una pila, los bornes de la batería, los dos contactos del enchufe, dos

hilos de línea de alta tensión. Pero en un mismo cable, entre diferentes puntos del cable o entre diferentes puntos de metales.



Figura 2. Fuentes de Voltaje.

Un término que identifica al voltaje es la polaridad. Al hablar de dos cargas, estas se relacionan con una polaridad positiva (+) para los iones positivos y polaridad negativa (-) para los electrones. La unidad de esta señal eléctrica son los Volts o Voltios (V).

La tensión puede estar ahí, aunque no la “usemos”. En casa hasta no enchufar y encender un aparato no estamos gastando nada de electricidad, pero en los enchufes siempre están los 120V.

Como los electrones son elementos muy pequeños, estos se agrupan en un "paquete", llamado *Coulomb (C)*, equivalente a  $6.242 \times 10^{18}$  electrones. En el proceso de mover la carga de un punto *a* al punto *b*. Si se utiliza un total de 1 *Joule (J)* de energía para mover la carga negativa de 1 *Coulomb (C)*, hay una diferencia de 1 *Volt (V)* entre los dos puntos. Por lo tanto, un Volt puede definirse como:

$$V = \frac{W}{Q} \text{ (Volts, V)}$$

Donde *W* son los *Joules* (energía), *Q* son los *Coulombs* (carga) y *V* son los *Volts* (voltaje). En palabras simples, el voltaje es la energía que se debe suministrar al circuito para que circule una carga eléctrica. Así también podemos definir una ecuación para determinar la energía requerida para mover una carga a través de una diferencia de voltaje:

$$W = Q \times V \text{ (Joules, J)}$$

Si se desea saber cuánta carga estuvo relacionada, utilizamos:

$$Q = \frac{W}{V} \text{ (Coulombs, C)}$$

### Corriente

Una persona inexperta en la materia quizá tienda a utilizar indistintamente los términos *corriente* y *voltaje* como si ambos fueran fuentes de energía, pero esto no es así.

El *voltaje* aplicado es el mecanismo de activación; la *corriente* es una reacción al *voltaje* aplicado.

Supongamos un alambre de cobre que permanece aislado sobre un banco de laboratorio, como el que se muestra en la Figura 3. Ahora bien, si lo cortamos de forma perpendicular a su largo y "vemos" en el interior del cable, veremos que hay



electrones libres cruzando la superficie en ambas direcciones. Los electrones libres generados a temperatura ambiente están en constante movimiento en direcciones aleatorias. Sin embargo, en cualquier momento, el número de electrones que cruzan el plano imaginario en una dirección es exactamente igual a los que cruzan en dirección opuesta, por lo que el *flujo neto* en cualquier dirección es *cero*.

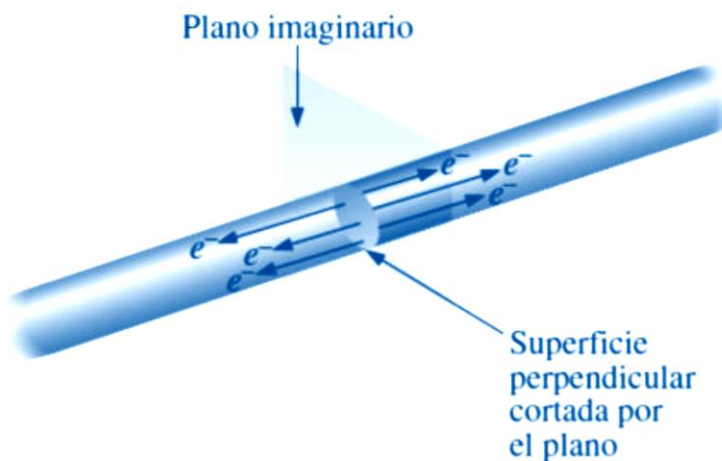


Figura 3.

Ahora, para hacer que este flujo de electrones trabaje para nosotros, tenemos que darle una dirección y ser capaces de controlar su magnitud. Esto se logra con sólo aplicar un voltaje a través del alambre para hacer que los electrones se muevan hacia la terminal positiva de la batería, como se muestra en la Figura 4. En cuanto se coloca el alambre entre las terminales, los electrones libres en él se dirigen hacia la terminal positiva. Conforme los electrones pasan a través del alambre, la terminal negativa de la batería actúa como una fuente de electrones adicionales para mantener el proceso en movimiento. Los electrones que llegan a la terminal positiva son absorbidos, y por la acción química de la batería, más electrones se depositan en la terminal negativa para compensar los que se fueron.

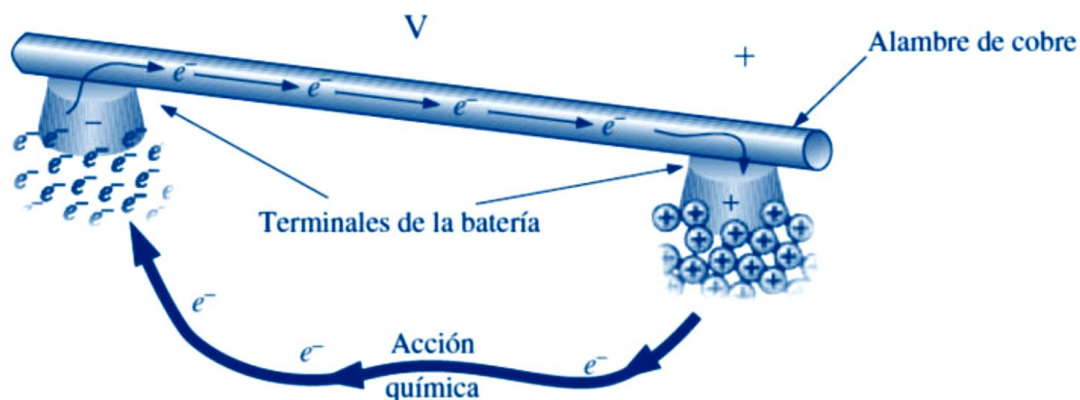


Figura 4. Movimiento de electrones en un alambre al aplicarle un voltaje.

Ahora, consideremos la configuración de la Figura 5, donde se utilizó un alambre de cobre para conectar un foco a una batería para crear el más simple de los circuitos eléctricos. En el momento en que se hace la conexión final, los electrones libres de carga negativa se dirigen a la terminal positiva, mientras los iones positivos que se quedan atrás simplemente oscilan en una posición media fija. El flujo de carga (los electrones) que pasa a través del foco calienta el filamento de éste por fricción al punto que se calienta al rojo y emite la luz deseada.

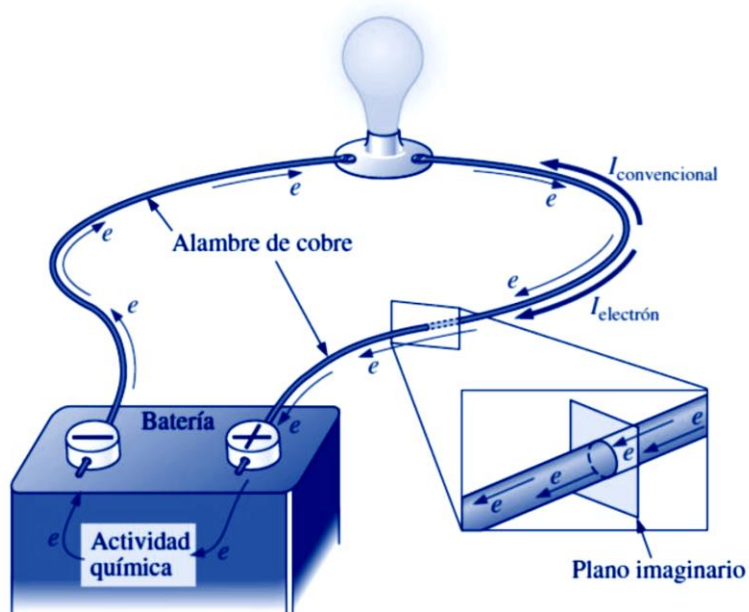


Figura 5. Circuito Eléctrico Básico

Por lo tanto, podemos establecer que el voltaje aplicado estableció un flujo de electrones en una dirección particular (de la terminal negativa a la terminal positiva).

Con esto, llegamos a la definición de corriente eléctrica.

Si 1 Coulomb pasan a través del plano imaginario en la 5 en 1 segundo, se dice que el *flujo de carga*, o *corriente*, es de un *ampere* (A). Esto es:

$$I = \frac{Q}{t} \text{ (Amperes, A)}$$

Donde I es la corriente eléctrica (Amperes, A), Q es la carga eléctrica (Coulombs, C) y t es el tiempo t (segundos, s).

En palabras simples, para que se produzca la circulación eléctrica a través de un material se necesita lo siguiente:

- ▶ Un circuito cerrado por el que puedan circular los electrones continuamente.
- ▶ Un dispositivo que suministre la energía necesaria para producir el movimiento de los electrones a través del circuito. Estos dispositivos son los generadores, pilas o baterías.

Así también podemos definir una ecuación para determinar la carga eléctrica por unidad de tiempo

$$Q = It \text{ (Coulombs, C)}$$

Y el tiempo requerido para que una corriente eléctrica circule con cierta cantidad de carga eléctrica.

$$t = \frac{Q}{I} \text{ (segundos, s)}$$

Una analogía que a menudo se utiliza para explicar esto es la sencilla manguera de jardín. Sin presión, el agua permanece quieta en la manguera sin ninguna dirección, del mismo modo que los electrones no tienen una dirección neta sin un voltaje aplicado. Sin embargo,

si se abre la llave la presión aplicada hace que el agua fluya a través de la manguera. Asimismo, aplique un voltaje al circuito y el resultado es un flujo de carga o corriente.

Si vemos nuevamente la Figura 5, vemos que se indicaron dos direcciones de flujo de carga. Una se llama *flujo convencional*, y la otra se llama *flujo de electrones*. El flujo convencional es el más utilizado, se emplea en el diseño de todos los símbolos de dispositivos electrónicos, y es la opción popular para todos los paquetes de software importantes. La polémica del flujo, es el resultado de una suposición cuando se descubrió la electricidad, pues se creía que la carga positiva era la partícula en movimiento en conductores metálicos.

### Resistencia

Diferentes cables colocados a través de las mismas dos terminales de una batería permiten que fluyan diferentes cantidades de carga entre las terminales. Muchos factores, como la densidad, la movilidad y las características de estabilidad de un material, explican estas variaciones del flujo de carga. Una de estas características que determina la cantidad que carga que pueda circular en un cable es conocida como *resistencia*.

La **resistencia** es el grado de oposición que presenta un material a ser atravesado por la electricidad. Así, **los conductores** son aquellos materiales que permiten un flujo generoso de electrones con muy poca fuerza externa (voltaje) aplicada. Por ejemplo, el *cobre* se utiliza con más frecuencia y sirve como estándar de comparación de la conductividad relativa, lo opuesto a la resistencia o resistividad. Observa que el aluminio, el cual ha encontrado un cierto uso comercial, tiene sólo 60% del nivel de conductividad del cobre, como se muestra en la Tabla 1. Sin embargo, la selección del material se debe ponderar contra los factores de costo y peso. El agua y el cuerpo humano pueden conducir, por eso es peligroso usar aparatos eléctricos con las manos mojadas.

| Posición | Metal                     | % Conductividad |
|----------|---------------------------|-----------------|
| 1        | Plata (puro)              | 105%            |
| 2        | Cobre                     | 100%            |
| 3        | Oro                       | 70%             |
| 4        | Aluminio                  | 61%             |
| 5        | Latón                     | 28%             |
| 6        | Zinc                      | 27%             |
| 7        | Níquel                    | 22%             |
| 8        | Hierro (puro)             | 17%             |
| 9        | Estaño                    | 15%             |
| 10       | Bronce Fosforado          | 15%             |
| 11       | Acero                     | (3-15)%         |
| 12       | Plomo (puro)              | 7%              |
| 13       | Níquel Aluminio<br>Bronce | 7%              |

Tabla 1. Conductividad Relativa de Varios Metales

Si por un aparato o por un cable circula más corriente de la que admite se calentará y puede quemarse. Algunos aparatos para evitar romperse del todo tienen un fusible. Si pasa demasiada corriente lo primero que se rompe es el fusible, que al morir corta el circuito y salva la vida del aparato.

Por otro lado, **los aislantes** son aquellos materiales que tienen muy pocos electrones libres y que requieren un gran potencial aplicado (voltaje) para establecer un nivel de corriente medible.

Un uso común del material aislante es para recubrir alambre que transportan corriente, los cuales, si no están aislados podrían provocar efectos secundarios peligrosos. En la figura aparecen algunos tipos diferentes de aislantes y sus aplicaciones. Tenga en cuenta, sin embargo, que incluso el mejor aislante se romperá (y permitirá que fluya carga a través de él) si a través de él se aplica un potencial suficientemente grande. Las fuerzas de ruptura de algunos aislantes comunes se enuncian en la Tabla 2.

| Material                     | Fuerza de ruptura promedio (kV/cm) |
|------------------------------|------------------------------------|
| Aire                         | 30                                 |
| Porcelana                    | 70                                 |
| Aceites                      | 140                                |
| Bakelita®                    | 150                                |
| Hule                         | 270                                |
| Papel (cubierta de parafina) | 500                                |
| Teflón®                      | 600                                |
| Vidrio                       | 900                                |
| Mica                         | 2000                               |

Tabla 2. Fuerza de Ruptura de Algunos Aislantes Eléctricos

Como anteriormente se mencionó, para que fluya una carga a través de un material, es necesario aplicarle una tensión. La *Ley de Ohm* establece una relación entre la corriente, el voltaje y la resistencia.

$$V = R \times I \text{ (Volts, } V\text{)}$$

Donde V (Tensión, V) es el voltaje aplicado. R es la resistencia que tiene el material (Ohms,  $\Omega$ ) e I es la corriente (Ampere, A).

Si analizamos la ecuación anterior, podemos ver que, a igual tensión, cuanto mayor es la resistencia, menor es la corriente. Y a igual resistencia, cuanto mayor es la tensión, mayor es la corriente, I.

Así también podemos definir una ecuación para determinar la resistencia con base en la relación voltaje y corriente.

$$R = \frac{V}{I} \text{ (Ohms, } \Omega\text{)}$$

O bien, podemos encontrar la corriente que circularía a través de un material al aplicarle una diferencia de potencial a un material con una resistencia R.

$$I = \frac{V}{R} \text{ (Amperes, A)}$$

### Factores que afectan la resistencia

Existen cuatro factores que pueden alterar la resistencia de un material, haciendo que se incremente o disminuya. Estos son:

- ▶ **Material.** Las propiedades eléctricas son diferentes para cada tipo de material. El remplazar un material por otro, causa efectos sobre la circulación de la corriente pues su resistencia cambia.
- ▶ **Diámetro.** La forma del material es otro factor que afecta la resistencia. El diámetro del alambre puede aumentar o disminuir el efecto resistivo. Cambiar alambres gruesos por alambres delgados provoca que haya variación en la circulación de la corriente pues un alambre que es más fino tiene más resistencia eléctrica.
- ▶ **Temperatura.** Un alambre que se siente caliente al tacto tendrá una resistencia más alta al flujo de la electricidad que un cable que se siente frío al contacto.
- ▶ **Largo.** Un alambre largo resistirá la electricidad más que un alambre corto, si están hechos del mismo material, son del mismo diámetro y están a la misma temperatura.

## 1.2 Corriente Directa

La corriente directa (CD) o corriente continua (CC) es aquella cuyas cargas eléctricas o electrones fluyen siempre en el mismo sentido en un circuito eléctrico cerrado, moviéndose del polo negativo hacia el polo positivo de una fuente de voltaje.

En otras palabras, la corriente directa es un flujo eléctrico que se mantiene constante y no hay cambios en el voltaje, esto se aprecia en la Figura 6 con la señal de color rojo.

### Ventajas

- ▶ Se puede almacenar en forma de baterías, lo que permite tener una fuente de energía a disposición para los dispositivos, aparatos, o máquinas que permitan este tipo de energía.
- ▶ En algunos casos, las baterías pueden ser recargables.
- ▶ Su uso es más seguro que el de la corriente alterna, lo que ha permitido desarrollar múltiples soluciones, especialmente con fines domésticos.
- ▶ Permite un uso de voltajes más bajos para transmitir electricidad por medio de cables.

### Aplicaciones

- ▶ Automóviles.
- ▶ Sistemas de transporte subterráneo y ferrocarriles.
- ▶ Telefonía móvil.
- ▶ Computadoras (deben alimentarse con corriente alterna, pero internamente esta se transforma en corriente directa).
- ▶ Todo dispositivo o aparato que requiera el uso de baterías

La corriente continua se utiliza normalmente para aplicaciones donde necesitamos un bajo voltaje, especialmente donde la energía es producida por pilas o por



sistemas de energía solar fotovoltaica (células fotovoltaicas), ya que ambos sólo producen corriente continua.

En un circuito con corriente continua, es importante no cambiar la polaridad. Así, las fuentes de energía de corriente directa que conocemos son las pilas, baterías y placas solares, en las cuales, la corriente sale del polo positivo y vuelve al negativo. Para distinguir sus terminales, generalmente se usa el color rojo para el positivo y negro para el negativo.

### 1.3 Corriente alterna (CA)

La Corriente Alterna es la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La variación puede ser en intensidad de corriente o en sentido a intervalos regulares. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una Onda Senoidal, puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía.

El voltaje varía entre los valores máximo y mínimo de manera cíclica. El voltaje es positivo la mitad del tiempo y negativo la otra mitad. Esto significa que la mitad del tiempo la corriente circula en un sentido y, la otra mitad en sentido opuesto. Esto se puede ver en la Figura 6 con la señal de color azul en donde se aprecian las variaciones. Al contrario de la corriente continua, que mantiene su valor de tensión constante y sin cambio de polaridad.

Utilizada genéricamente, la Corriente Alterna representa la forma en la cual la Electricidad llega a los hogares y a las empresas. Sin embargo, las señales de Audio y de Radio transmitidas por los Cables Eléctricos, son también ejemplos de corriente alterna. En estos usos, el fin más importante suele ser la transmisión y recuperación de la información codificada (o modulada) sobre la señal de la Corriente Alterna.

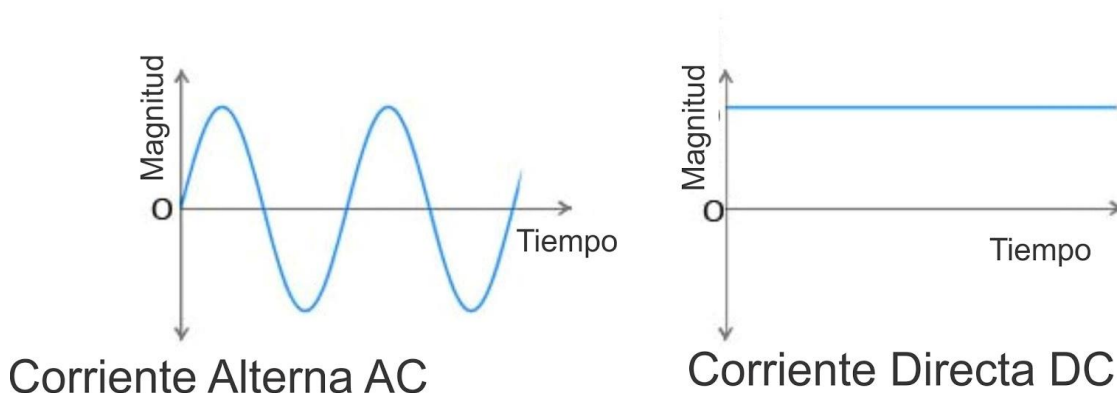


Figura 6. Señales de Ca y Cd

### Características

La corriente alterna posee una serie de características particulares que las hace distinguir unas de otras. Las principales son:

- ▶ La forma de onda
- ▶ La amplitud
- ▶ La frecuencia
- ▶ La fase (cuando existen dos o más corrientes alternas superpuestas en el mismo circuito, como el caso típico de la corriente trifásica del servicio público)

### Ventajas

En comparación con la corriente continua, el uso de la corriente alterna tiene las siguientes ventajas:

- ▶ Es posible aumentar o disminuir el voltaje o tensión por medio de transformadores.
- ▶ Facilita el transporte de la electricidad eléctrica con poca pérdida de energía.
- ▶ Es posible convertirla en corriente continua con facilidad.

- ▶ Incrementando su frecuencia electrónicamente se puede transmitir voz, imagen, sonido y órdenes de control a grandes distancias, de forma inalámbrica.
- ▶ Los motores eléctricos y los generadores de este tipo de corriente son más sencillos y fáciles de mantener.

Las fuentes de corriente alterna son las grandes centrales eléctricas y la transmiten a través de la red eléctrica (enchufes de la casa) y los alternadores.

### Conexión a tierra o cable de protección

Es un cable extra que ayuda a evitar descargas eléctricas en las personas y los equipos. Conecta el suelo (con una barra de cobre clavada en la tierra) y las carcasas de los aparatos eléctricos. Se distingue porque es de color verde y amarillo. Sirve para desviar directamente la corriente eléctrica generada por una descarga o un cortocircuito a la tierra, en lugar de ir a través de una persona cuando haga contacto con el equipo. Es especialmente necesario en aparatos que usan agua, con carcasa metálica, que sea de contacto continuo o de alta potencia (lavadoras, motores, taladros, equipos de cómputo, etc). En los enchufes o contactos polarizados conocemos los dos contactos principales, ranura de potencial o fase ("vivo") y ranura de neutro, y debe existir un contacto a tierra de forma circular.

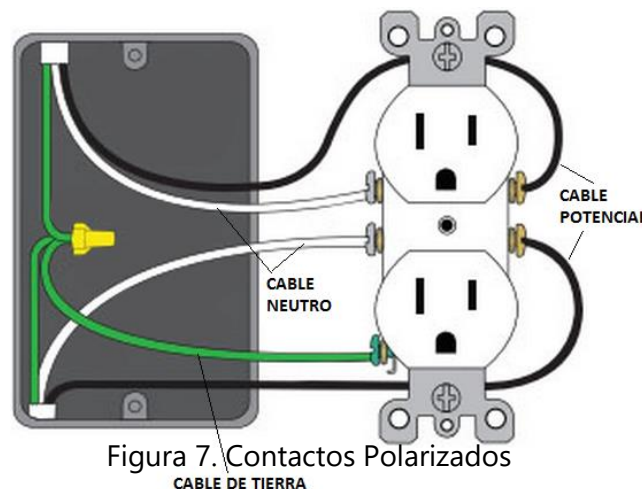


Figura 7. Contactos Polarizados

## 1.4 Circuito serie

Los elementos de un circuito eléctrico pueden conectarse en serie o en paralelo con respecto a la fuente de tensión. En el circuito serie los elementos se conectan unos a continuación de otros para formar una sola ruta que la corriente fluya a través del circuito siendo la misma en cada uno de los elementos.

La tensión de la fuente se reparte entre los diferentes elementos y por lo tanto no funcionan eficazmente. Además, si alguno de los elementos se avería, la corriente se interrumpe y el circuito deja de funcionar.

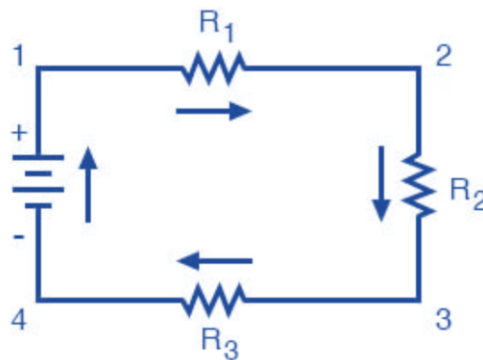


Figura 8. Circuito en Serie.

Un circuito en serie tiene las siguientes características:

- ▶ Los elementos que forman el circuito son conectados "uno tras otro"
- ▶ La corriente que circula por cada uno de los elementos es la misma.
- ▶ El voltaje aplicado al circuito se reparte de forma proporcional en cada uno de los elementos que lo forman, por lo tanto, el voltaje es diferente.
- ▶ Si un elemento es removido o se daña, la corriente deja de circular por los demás elementos.

## 1.5 Circuito paralelo.

En el circuito paralelo todos los elementos se conectan a las terminales positiva y negativa de la fuente de tensión. La corriente que proporciona la fuente no es la misma que la que circula por los diferentes elementos. La tensión que proporciona la fuente sobre cada elemento es la misma, por lo que pueden funcionar eficazmente. Si alguno de los elementos se estropea no impide el funcionamiento del resto de los elementos del circuito.

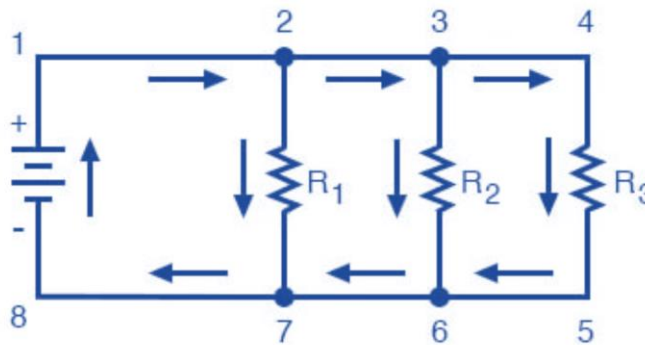


Figura 9. Circuito en Paralelo

Un circuito en paralelo tiene las siguientes características:

- ▶ Los elementos que forman el circuito son conectados "entre si"
- ▶ La corriente que circula por cada uno de los elementos es diferente.
- ▶ El voltaje aplicado al circuito es igual.
- ▶ Si un elemento es removido o se daña, la corriente solo deja de circular por el elemento afectado.

### Diferencia entre circuito en serie y paralelo

En el siguiente cuadro, mencionaremos las principales diferencias entre un circuito en serie y en paralelo:

| Comparación                | Circuito en serie  | Circuito en paralelo  |
|----------------------------|--|---|
| Orientación de componentes | Los componentes se conectan unos a otros   | Aquí los componentes están conectados cabeza a cabeza y de cola a cola                                  |
| Corriente                  | La misma corriente fluye a través de todos los componentes del circuito                                  | Diferentes corrientes fluyen a través de cada componente en el circuito                                 |
| Voltaje                    | Existen diferentes diferencias de potencial (voltaje) en cada componente                                 | La diferencia de potencial (voltaje) que existe entre los diversos componentes del circuito es la misma |
| Numero de caminos          | Único  | Múltiple  |
| Fallas                     | La falla en uno de los componentes del circuito causa un obstáculo en la operación del circuito completo | La falla en un solo componente no obstaculiza la operación del resto del circuito                       |

### 1.7 Potencia y energía.

La potencia, también llamada vataje, es la cantidad de energía que suministra o consume un sistema por unidad de tiempo. Otras unidades empleadas para medir el consumo de energía es el KiloWatt-hora (KWh) o el caballo de fuerza o potencia (HP = 745 W).

La potencia eléctrica se puede determinar con la relación entre la fuerza necesaria aplicada, Voltaje, y la cantidad de carga desplazada a través del elemento, Corriente.

$$P = V \cdot I \text{ (Watts o Vatios, } W \text{)}$$

La **potencia** de un aparato nos dice cuanta "fuerza" usa, cuanto servicio puede dar, y a la vez cuanta gasta.

Un equipo de sonido de 100 W puede sonar más fuerte que uno de 25 W. Una bombilla de 100 W da más luz que una de 60 W.

La **energía** es la cantidad de trabajo que un sistema es capaz de producir. La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma. Los aparatos eléctricos consumen energía eléctrica y la transforman en energía luminosa (foco, lámpara, diodo LED), en calor (calentador de resistencia) o en energía mecánica (motores) por ejemplo.

$$E = P \cdot t$$



Donde  $E$  es la energía (Joules, J),  $P$  es la potencia (Watts, W) y  $t$  es el tiempo (segundos, s).

La energía es lo que se gasta en total a lo largo de un tiempo. Por ejemplo, una calefacción de 1000 W encendida durante una hora habrá gastado 1 KWh.

## CAPÍTULO 2. Mediciones Eléctricas

Es importante ser capaz de medir los niveles de corriente y voltaje de un sistema eléctrico en operación para verificar su funcionamiento, aislar las disfunciones e investigar los efectos imposibles de predecir en documentos. Como sus nombres lo indican, los *amperímetros* se utilizan para medir niveles de corriente; con los *voltímetros*, se mide la diferencia de potencial entre dos puntos. En la industria, los niveles de voltaje se miden con más frecuencia que los niveles de corriente, sobre todo porque la medición de los primeros no implica perturbar las conexiones de la red.

### 2.1 Multímetro

El **Multímetro**, polímetro o tester es un aparato que sirve para medir voltios, amperios, ohmios y otras señales. Con un selector de perilla se selecciona la medición y escala a medir (en algunos modelos también hay que cambiar la posición de uno de los cables).



Figura 10. Multímetro

La mayoría de las veces se usa como Voltímetro (para medir si hay tensión entre dos cables, o en un enchufe) o como Óhmetro para determinar la resistencia o ver si dos



puntos están conectados (continuidad). Si están conectados es fácilmente de comprender ya que emite un sonido, esto significa que la resistencia es casi cero.

### 1.3 Medición de Voltaje

La diferencia de potencial entre dos puntos se mide conectando los cables del medidor directamente en los dos puntos, como se indica en la Figura 11. Pasos:

1. Ubicar en la perilla el tipo de señal que vamos a medir: VCD (VDC) o VCA (VAC). Revisar que las puntas de medición estén colocadas adecuadamente para medir voltaje.
2. Si el tipo de señal tiene un grupo de escalas, seleccionar la más alta o si se conoce el valor esperado, seleccionar la escala más inmediata superior a dicho valor.
3. Colocar la punta roja (positivo) en una terminal o conexión del elemento y colocar la punta negra (negativo) en la otra. – Una lectura positiva se obtiene cuando el cable
4. positivo se ha conectado al punto de mayor potencial de la red y el cable común o negativo al punto de menor potencial. La conexión inversa da por resultado una lectura negativa.

*NOTA: El procedimiento anterior se realiza para mediciones de baja potencia (600 V). Para potencias mayores, la medición se realiza con multímetro de gancho o medidor sin contacto y las medidas de protección adecuadas*

### Medición de corriente

Los amperímetros, o los multímetros con el selector ubicado en la sección de medición de corriente, se conectan como se muestra en la Figura 12. Como los amperímetros miden el flujo de carga, el medidor debe colocarse en la red de modo que la carga fluya a través del medidor.

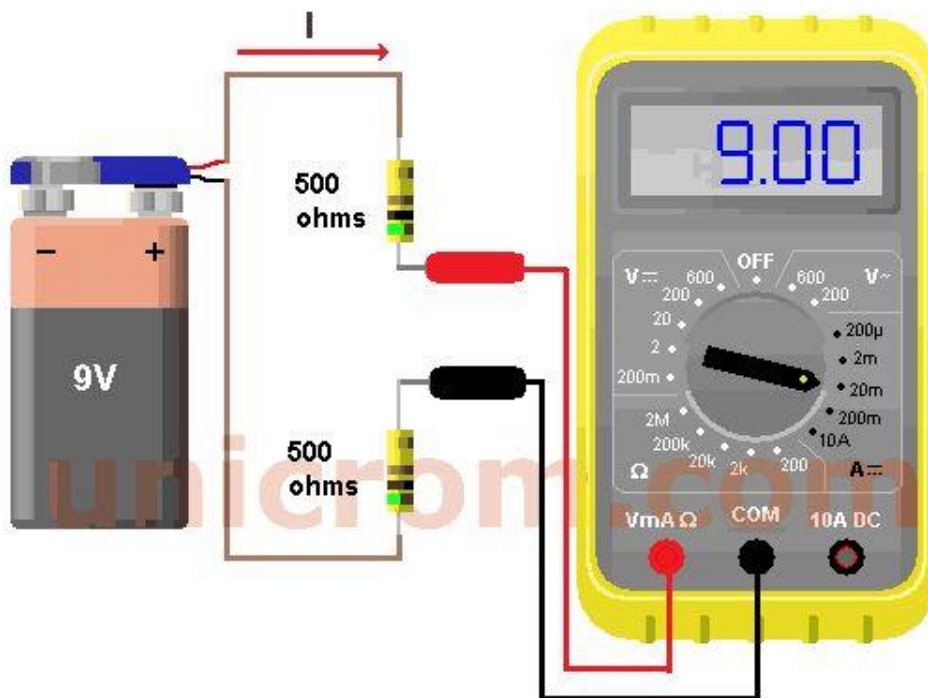


Figura 12. Medición de Corriente Con Multímetro

Los pasos para realizar la medición de corriente son los siguientes:

1. Ubicar en la perilla el tipo de señal que vamos a medir: ACD (ADC) o ACA (AAC). Revisar que las puntas de medición estén colocadas adecuadamente para medir corriente.
  - En la mayoría de los multímetros es necesario cambiar la terminal roja de posición. Identifique la conexión que mide corriente (A) y asegúrese que esté conectada la punta en esa terminal.

2. Si el tipo de señal tiene un grupo de escalas, seleccionar la más alta o si se conoce el valor esperado, seleccionar la escala más inmediata superior a dicho valor.
  3. Para realizar la medición, es necesario abrir en el circuito en el punto de la trayectoria donde se va a medir la corriente del sistema y colocar el medidor entre las dos terminales desconectadas.
- Una lectura positiva indica que las conexiones realizadas siguen el flujo de corriente del sistema, es decir, el cable positivo se ha conectado al punto por el cual entra la corriente al dispositivo y el cable común o negativo al punto de salida. La conexión inversa, es decir, que la corriente del sistema entraría por la punta negativa y saldría por la punta positiva, da por resultado una lectura negativa.

*NOTA: El procedimiento anterior se realiza para mediciones de baja potencia (máx 600VAC). Para potencias mayores, la medición se realiza con multímetro de gancho o medidor sin contacto y las medidas de protección adecuadas.*

### Medición de resistencia

Normalmente, se toman las mediciones de resistencia para indicar las características de un componente o un circuito.

Cuanto mayor sea la resistencia, menor será el flujo de corriente. Si es anormalmente alta, una causa posible (entre muchas) podrían ser los conductores dañados por el fuego o la corrosión. Todos los conductores emiten cierto grado de calor, por lo que el sobrecalentamiento es un problema que a menudo se asocia con la resistencia.

Cuanto menor sea la resistencia, mayor será el flujo de corriente. Causas posibles: aisladores dañados por la humedad o un sobrecalentamiento.

Muchos componentes, tales como los elementos de calefacción y las resistencias, tienen un valor de resistencia fijo. Estos valores se imprimen a menudo en las placas de identificación de los componentes o en los manuales de referencia.

Cuando se indica una tolerancia, el valor de resistencia debe encontrarse dentro de la gama de la resistencia especificada. Cualquier cambio significativo en un valor de resistencia fijo generalmente indica un problema.

La "resistencia" puede parecer negativa, pero en la electricidad puede usarse beneficiosamente.

Por ejemplo, la corriente debe luchar para fluir a través de las bobinas pequeñas de una tostadora, lo suficiente como para generar el calor que tuesta el pan. Las bombillas incandescentes antiguas fuerzan la corriente para que fluya a través de filamentos muy delgados y generen luz.

***NOTA:** La resistencia no puede medirse en un circuito en funcionamiento. Para determinarla, es necesario medir la corriente y el voltaje que consume el elemento para determinar su resistencia.*

## 1.4 Voltamperímetro de Gancho

Un amperímetro de gancho es un dispositivo de medición eléctrica utilizado para medir la corriente eléctrica en un circuito sin necesidad de interrumpir el flujo de corriente. Este instrumento cuenta con una abertura en forma de gancho que rodea el conductor por el cual fluye la corriente, permitiendo una medición precisa y no intrusiva de la intensidad de la corriente eléctrica.

Son herramientas comunes en el campo de la electricidad y la electrónica, facilitando la medición de corriente en cables y conductores sin necesidad de cortarlos o desenchufarlos, lo que los hace especialmente útiles para tareas de diagnóstico y mantenimiento en sistemas eléctricos y electrónicos.



Figura 13. Multímetro de Gancho

Los amperímetros de gancho, también conocidos como pinzas amperimétricas, son herramientas de medición eléctrica versátiles que se utilizan para medir corrientes eléctricas en circuitos **sin necesidad de interrumpirlos**. Existen varios tipos de amperímetros de gancho, cada uno diseñado para satisfacer necesidades específicas en diferentes aplicaciones:

- **Amperímetros de gancho de corriente alterna (CA):** Estos medidores están diseñados principalmente para medir corrientes eléctricas en circuitos de corriente alterna. Son ideales para trabajos de electricidad en el hogar, diagnóstico de **problemas eléctricos** y mantenimiento de **sistemas de CA**. Pueden proporcionar mediciones precisas de la corriente en forma de valor RMS (valor eficaz) y a menudo cuentan con una función de detección de voltaje sin contacto.
- **Amperímetros de gancho de corriente continua (CC):** A diferencia de los modelos de CA, estos amperímetros de gancho están diseñados

específicamente para medir corriente continua. Son esenciales en **aplicaciones como la industria automotriz**, donde se requiere medir la corriente de baterías y circuitos de CC. Ofrecen lecturas precisas de la corriente continua y a menudo incluyen funciones adicionales, como pruebas de diodos y continuidad.

- **Amperímetros de gancho de alta corriente:** Estos modelos están diseñados para manejar **corrientes eléctricas más altas** que los amperímetros de gancho estándar. Son esenciales en aplicaciones industriales y de potencia, como la medición de corrientes en líneas de alta tensión o en sistemas de distribución de energía.
- **Amperímetros de gancho especializados:** Además de los tipos mencionados, existen amperímetros de gancho especializados para **aplicaciones específicas**. Por ejemplo, algunos están diseñados para medir corriente en aplicaciones de energía solar o para detectar fugas de corriente en sistemas eléctricos.

La elección del tipo de amperímetro de gancho dependerá de la aplicación y el tipo de corriente eléctrica que se desee medir. Estos dispositivos ofrecen una forma conveniente y **precisa de realizar mediciones**. Esto los convierte en herramientas indispensables para electricistas, técnicos y profesionales de la industria.

## **PARTES DEL MULTÍMETRO**

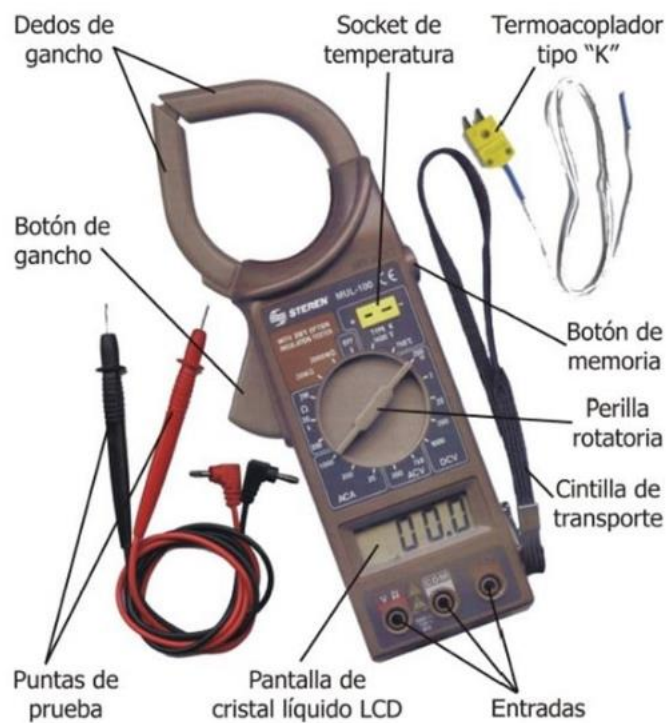


Figura 13.1 Partes de un Multímetro de Gancho

## CAPÍTULO 3. Control de Motores Eléctricos

### 3.1 El contactor

Un contactor es un interruptor electromagnético, es decir que es accionado por un electroimán o bobina con corriente.

Como tal, se utiliza para permitir o interrumpir automáticamente el flujo de corriente a través de motores y otros tipos de cargas de potencia. Los contactores se emplean normalmente para conmutar tensiones bajas y medias y corrientes desde pocos hasta varios cientos de amperios. Aunque son esencialmente electromecánicos, muchos de ellos incluyen circuitos electrónicos que les permiten trabajar con una vasta gama de tensiones de mando, funcionar indistintamente con AC o CD y otras facilidades.

Los contactores electromagnéticos son dispositivos de conmutación y mando de potencia relativamente sencillos, robustos y versátiles, con numerosas posibilidades de aplicación en sistemas de distribución de energía y de automatización eléctrica.

Los mismos que han reemplazado los tradicionales interruptores de cuchillas en las instalaciones industriales, ofreciendo entre otras las siguientes ventajas:

1. Permiten automatizar fácilmente el arranque y paro de motores.
2. Posibilitan el control de una maquina desde varios puntos o estaciones de maniobra.
3. Permiten accionar circuitos sometidos a corrientes altas, digamos 200 A, mediante corrientes muy pequeñas.



4. Proporcionan un alto nivel de seguridad para las personas, dado que las maniobras se realizan desde lugares alejados de la carga y las corrientes y tensiones relacionadas con los circuitos de mando son relativamente pequeñas.
5. Permiten controlar y automatizar equipos y maquinas que manejan procesos relativamente complejos mediante la ayuda de dispositivos auxiliares de mando como interruptores de final de carrera, detectores de proximidad, temporizadores, presostatos, termostatos etc.
6. Se montan sobre rieles o perfiles normalizados DIN de 35 mm de ancho.
7. Disponen de una gran variedad de accesorios, incluyendo bloques de contactos auxiliares NO y NC.

En la siguiente imagen vemos **un contactor real y su simbología**



## P1. APLICACIÓN DEL CONTACTOR

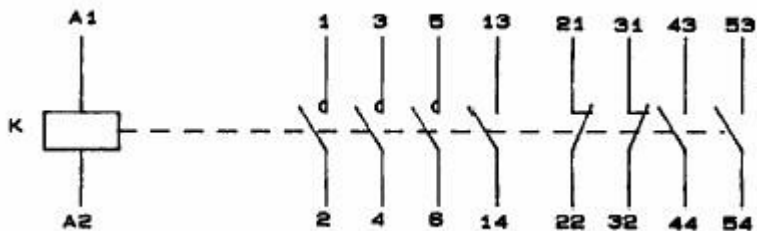
### Objetivos.

Conocer el funcionamiento de un contactor de potencia como interruptor comandado electromagnéticamente.

### Desarrollo Teórico.

El electromagneto está constituido por un núcleo magnético y por la bobina de excitación A1-A2 (véase la figura) que, cuando es recorrida por una corriente, atrae un varilla a la cual están conectados los contactos móviles que así ejecutan su función. Los contactos móviles son de dos tipos: contactos principales, o de potencia, numerados con una sola cifra y con la posibilidad de soportar las corrientes elevadas de la instalación, y contactos auxiliares, numerados con dos cifras, apropiados para soportar sólo las corrientes de los circuitos de control.

### Símbolo gráfico.



### Materiales y Equipo.

- Fuente de alimentación 120 Vca.
- Contactor: K.
- Transformador 120/24 Vca: T.

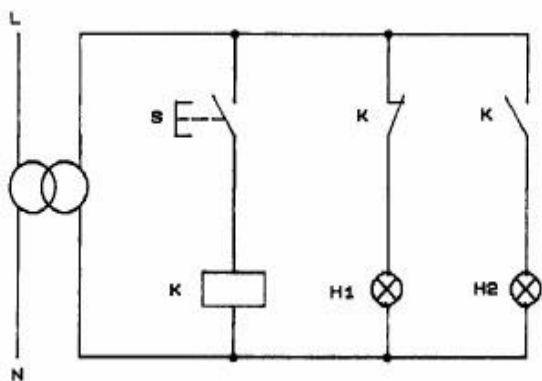
- Pulsador: S.
- Lámpara roja y verde: H1 y H2.
- Cables de conexión.

### Desarrollo Práctico.

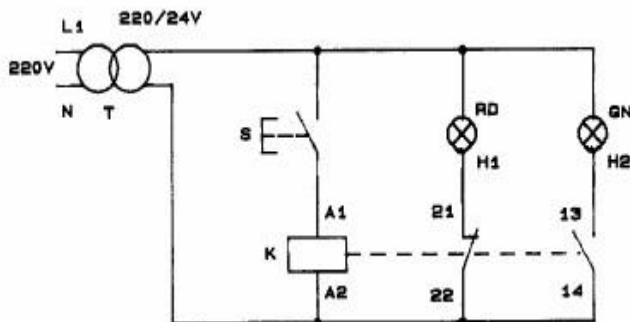
Armar un circuito utilizando los contactos auxiliares del contactor, que permita el encendido y el apagado simultáneo de dos lámparas con mando a distancia y verificar su funcionamiento.

Esquemas eléctricos.

Esquema funcional



Esquema multifilar



### Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.

## P2. OPERACIONES LÓGICAS

### Objetivos.

Utilizar componentes electromecánicos para realizar las operaciones lógicas AND, OR y NOT.

### Desarrollo Teórico.

Los estados lógicos de un sistema binario están definidos con símbolos binarios:

- "0" o bien "L" : (lámpara apagada; interruptor abierto).

- "1" o bien "H" : (lámpara encendida; interruptor cerrado).

NOTA : *Las convenciones indicadas son válidas para una lógica positiva.*

### Materiales y Equipo.

- Fuente de voltaje 120 Vca.
- Contactor: K.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 2 Pulsadores: S1 y S2.
- Lámpara de señalización: H.
- Cables de conexión.

### Desarrollo Práctico.

Construye los siguientes circuitos propuestos.

Operador AND.

Considera el siguiente ejemplo: un obrero puede accionar un determinado equipo sólo si están cerrados simultáneamente dos interruptores de seguridad.

Esquema Funcional

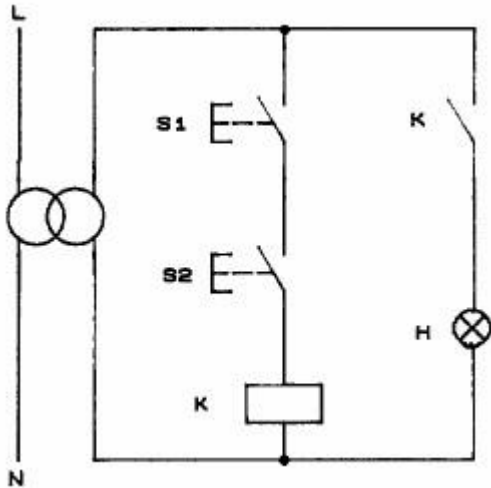


Tabla de verdad

| Input |    | Output |
|-------|----|--------|
| S1    | S2 | H      |
| 0     | 0  | 0      |
| 0     | 1  | 0      |
| 1     | 0  | 0      |
| 1     | 1  | 1      |

Operador OR Inclusivo.

Considera el siguiente ejemplo: una instalación de calefacción debe ser activada cuando el termostato ambiente o una sonda externa, o ambos, envían una señal de encendido.

Esquema Funcional

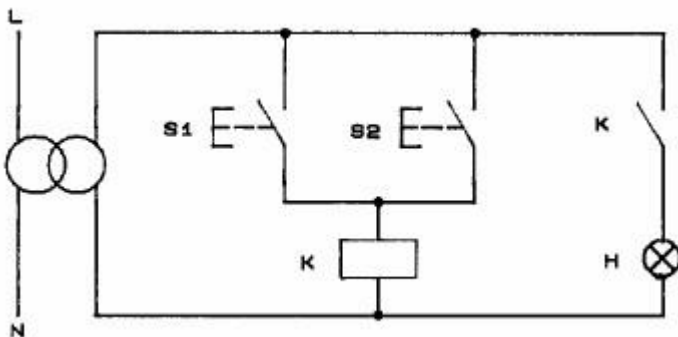


Tabla de verdad

| Input |    | Output |
|-------|----|--------|
| S1    | S2 | H      |
| 0     | 0  | 0      |
| 0     | 1  | 1      |
| 1     | 0  | 1      |
| 1     | 1  | 1      |

Operador NOT.

Considera el siguiente ejemplo: la lámpara piloto de una dinamo se apaga cuando la batería viene cargada por la misma dinamo.

Esquema Funcional

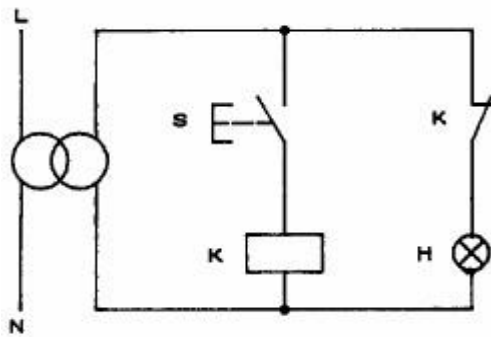


Tabla de verdad

| Input | Output |
|-------|--------|
| S2    | H      |
| 0     | 1      |
| 1     | 0      |

Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica

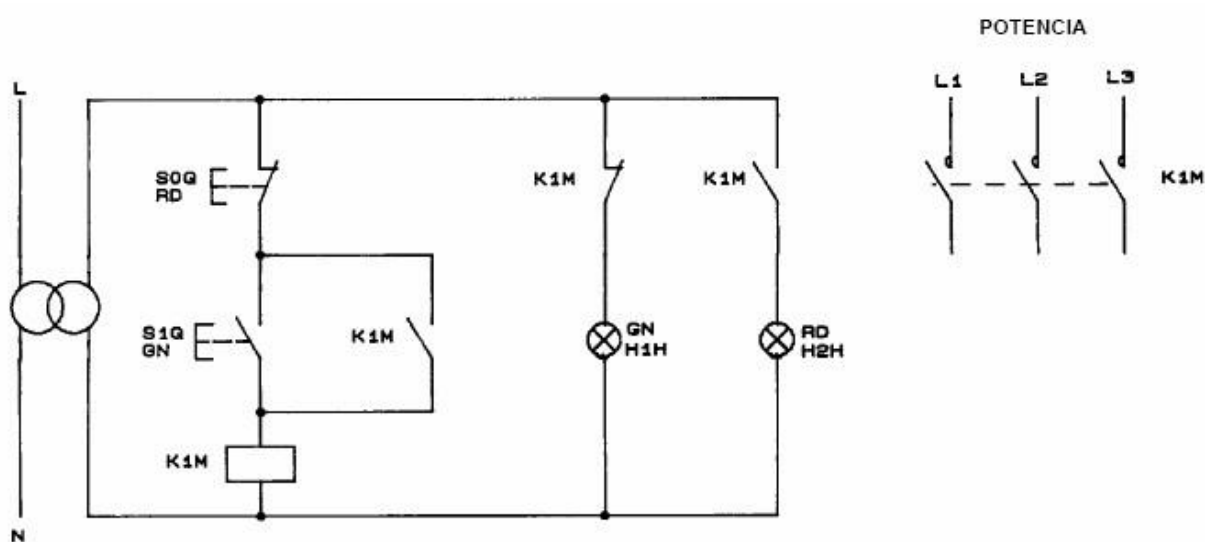
## 3.2 Autoalimentación del Contactor

### P3. AUTOALIMENTACIÓN DEL CONTACTOR

#### Objetivos.

Conocer el esquema de autoalimentación (autoretención) de la bobina del contactor utilizando sus contactos auxiliares.

#### Desarrollo Teórico.



Esquema funcional.

En condición de reposo, el contactor K1M está abierto y la lámpara verde H1H encendida.

Cuando se presiona el pulsador verde S1Q de marcha, se excita la bobina K1M del contactor con el consiguiente accionamiento de sus contactos móviles: se apaga la lámpara verde H1H, se enciende la roja H2H y se cierran los contactos del circuito de potencia, así como el contacto de retención, K1M, en paralelo con el pulsador de marcha.

Dejando de oprimir el pulsador de marcha S1Q, la bobina del contactor se autoalimenta por el contacto de retención K1M. Para abrir el contactor es necesario interrumpir la alimentación de la bobina mediante el accionamiento del pulsador rojo S0Q de paro.

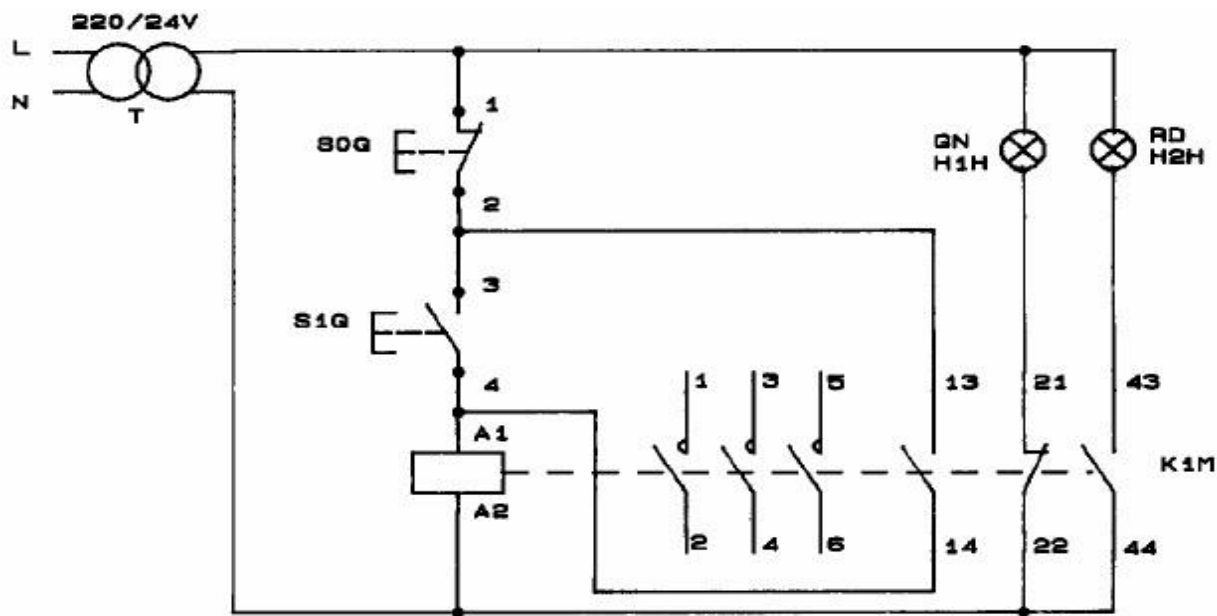
## Materiales y Equipo.

- Fuente de voltaje 120 Vca.
- Contactor: K1M.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 2 Pulsadores: S0Q y S1Q.
- 2 Lámparas de señalización: H1H y H2H.
- Cables de conexión.

## Desarrollo Práctico.

Armado el circuito de un contactor completo de mandos de maniobra, autoretención y señalización y luego verificar su funcionamiento.

Esquema multifilar.



## Cuestionario



1. Si después de haber alimentado el circuito se presiona el pulsador S1Q, el contactor cierra sus contactos. ¿Qué pasa dejando de oprimir el pulsador?
2. El contacto de retención, ¿está en serie o en paralelo con el pulsador S1Q?.
3. Si se quiere dar la posibilidad de abrir el contactor desde más posiciones, los demás pulsadores de paro, ¿van conectados en serie o en paralelo con el pulsador S0Q?.

### Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.

### 3.3 Interbloqueo entre contactores

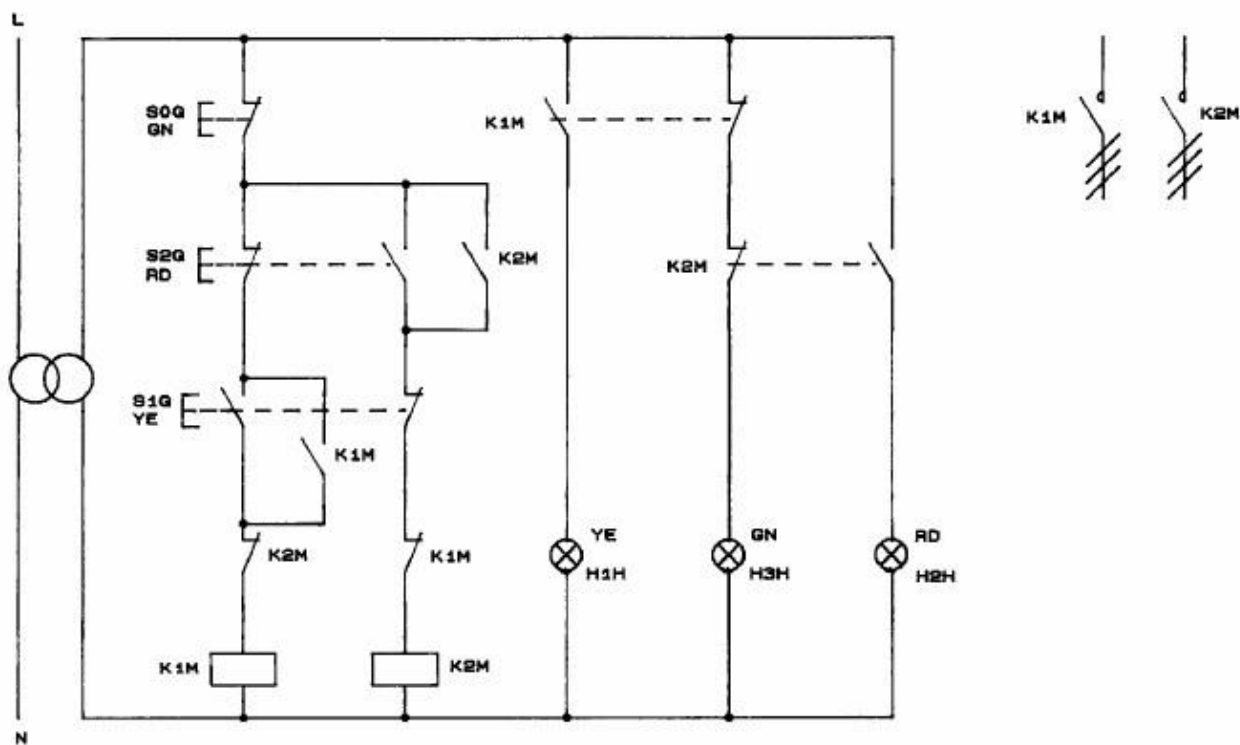
#### P4. INTERBLOQUEO ENTRE CONTACTORES

Objetivos.

Conocer el esquema de un circuito de bloqueo con el fin de mi pedir que dos contactores puedan ser accionados simultáneamente.

Desarrollo Teórico.

Esquema funcional.



En condición de circuito desenergizado, los contactores K1M y K2M no están actuados y la lámpara verde H3H se encuentra encendida.

Cuando se oprime el pulsador amarillo S1Q se alimenta la bobina del contactor K1M que cierra los contactos de potencia y aquellos de retención; entonces se apaga la lámpara verde y se enciende la amarilla H1H, mientras el circuito de la bobina del contactor K2M queda interrumpido por el contacto de bloqueo K1M que se abrió.

Si ahora se oprime el pulsador rojo S2Q, entonces se desexcita la bobina del contactor K1M, que así vuelve al reposo, y luego se alimenta la bobina del contactor K2M que cierra los contactos de potencia y los de retención; se apaga entonces la lámpara amarilla H1H y se enciende la roja H2H mientras el circuito de la bobina del contactor K1M queda interrumpido por el contacto de bloqueo K2M que se ha abierto.

Para volver a la condición inicial de reposo o circuito desenergizado, es suficiente oprimir el pulsador verde S0Q.

El uso de pulsadores con contacto de apertura y cierre, insertados en modo que oprimiendo uno cualquiera de los pulsadores, el contacto de apertura interrumpa el circuito de excitación del otro contactor y el de cierre permita la alimentación del propio contactor, permite desactivar ambos contactores en el caso que se opriman simultáneamente los dos pulsadores de marcha.

### **Materiales y Equipo.**

- Fuente de voltaje 120 Vca.
- 2 Contactores: K1M y K2M.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 3 Pulsadores: S0Q, S1Q y S2Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Cables de conexión.

**Desarrollo Práctico.**

Construir el circuito de interbloqueo de dos contactores completos de mandos de maniobra, autoretención, interbloqueo y señalización, y luego verificar su funcionamiento.

**Conclusiones.**

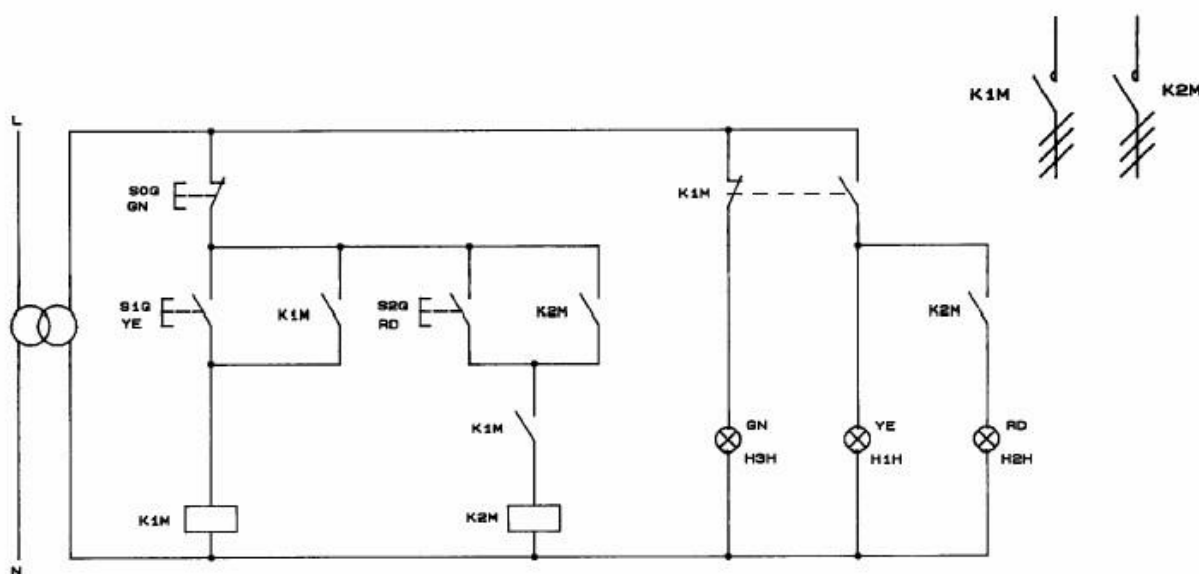
Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.

### 3.4 Contactores Operados en Secuencia

#### P5. CONTACTORES OPERADOS EN SECUENCIA

##### Objetivos.

Conocer el esquema de un circuito en el cual un segundo contactor pueda cerrarse sólo después del primero.



##### Desarrollo Teórico.

Esquema funcional.

En condición de circuito desenergizado, los contactores K1M y K2M no están actuados y la lámpara verde H3H se encuentra encendida.

Cuando se oprime el pulsador amarillo S1Q se alimenta la bobina del contactor K1M que cierra los contactos de potencia y los de retención; se apaga entonces la lámpara verde, se enciende la amarilla H1H y se predispone el circuito de la bobina del contactor K2M.

Si ahora se oprime el pulsador rojo S2Q se excita también la bobina del contactor K2M que cierra los contactos de potencia y los de retención; la lámpara amarilla H1H y la roja H2H se encienden.

Para volver a la condición inicial de circuito desenergizado, es suficiente oprimir el pulsador verde S0Q.

### **Materiales y Equipo.**

- Fuente de voltaje 120 Vca.
- 2 Contactores: K1M y K2M.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 3 Pulsadores: S0Q, S1Q y S2Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Cables de conexión.

### **Desarrollo Práctico.**

Armar el circuito de mando secuencial de los dos contactores y verificar su funcionamiento.

### **Conclusiones.**

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.

### 3.5 El Relé Térmico

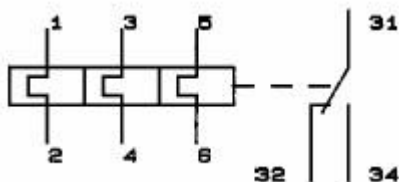
#### P.6 EL RELÉ TÉRMICO

##### Objetivos.

Conocer las características de operación del relé térmico como elemento de protección de un motor.

##### Desarrollo Teórico.

##### Símbolo gráfico



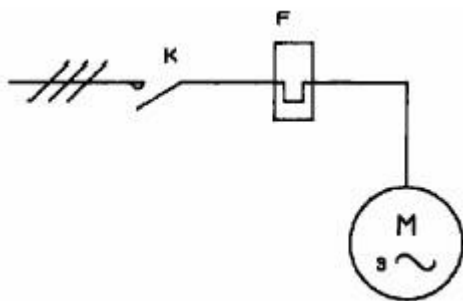
El relé térmico está compuesto por una lámina bimetálica que se calienta por el paso de la corriente del circuito.

En condiciones de sobrecarga (corriente superior al valor nominal de construcción) la lámina bimetálica, después de un cierto tiempo, se deforma y activa los contactos auxiliares (contacto de intercambio) que son utilizados en el circuito de mando para pilotear los dispositivos de protección del circuito principal.

Después de la intervención del relé es necesario esperar algunos minutos para permitir el enfriamiento de la lámina y entonces reinstaurar las condiciones de servicio después de haber eliminado la anomalía que ha provocado la apertura.

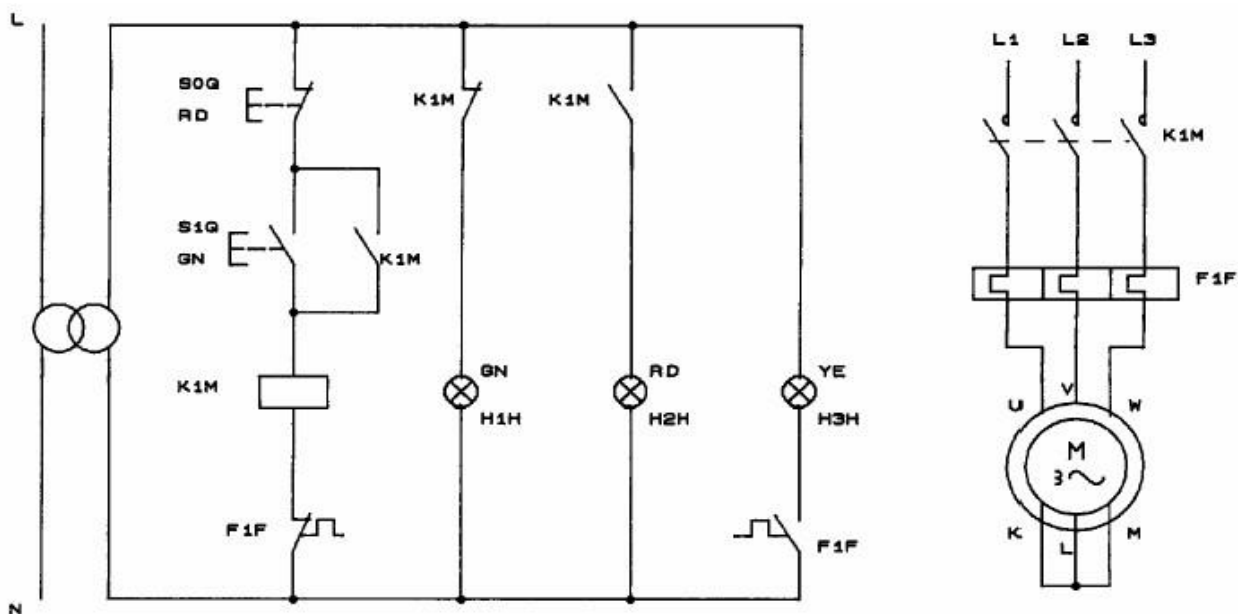
El rearme del relé puede ser manual oprimiendo el pulsador, o automático, en el sentido que después de un cierto tiempo los contactos del relé se vuelven a cerrar automáticamente y permanecen cerrados.

El relé térmico como protección del motor, debe instalarse en las terminales de salida del motor M.



En presencia de una sobrecarga, sus contactos auxiliares deben desconectar el contactor principal K y activar una eventual señalización.

Esquema funcional





En condición de circuito desenergizado, el contactor K1M desactivado y la lámpara verde H1H encendida.

Cuando se oprime el pulsador verde de marcha S1Q, se alimenta la bobina del contactor K1M que cierra los contactos de potencia y los de retención; se apaga la lámpara verde H1H y se enciende la roja H2H, mientras el motor arranca.

Para detener el motor es suficiente oprimir el pulsador rojo de paro S0Q, que interrumpe el circuito de alimentación de la bobina del contactor K1M.

En caso de sobrecarga interviene el relé térmico F1F que, con el contacto de intercambio, abre el circuito de alimentación de la bobina del contactor K1M mientras cierra el de la señalización amarilla H3H.

Después de haber eliminado la causa que ha provocado la intervención del relé, se procede al rearme del mismo, después de que el recierre del contactor K1M se efectúa oprimiendo nuevamente el pulsador de marcha S1Q.

### **Materiales y Equipo.**

- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- Contactor: K1M.
- Relé térmico F1F.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 2 Pulsadores: S0Q y S1Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Motor de inducción trifásico: M1M.
- Cables de conexión.

## Desarrollo Práctico.

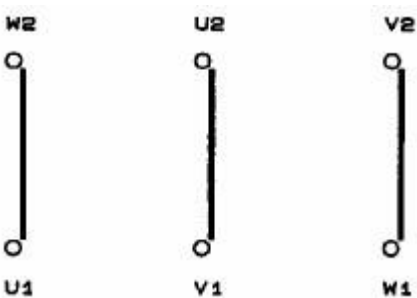
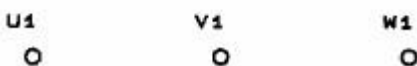
Armar el circuito de conexión del motor empleando el contactor con relé térmico y verificar su funcionamiento.

*Nota: Para la ejecución de la prueba se puede utilizar cualquier motor asíncrono trifásico con corriente nominal comprendida en la gama de ajuste del relé térmico (1.6 – 2.7A); el ajuste se realiza mediante el tornillo de regulación. En función del tipo de motor y de la tensión de red, el embobinado de estator deberá conectarse en estrella o en delta, recordando que la corriente absorbida por el motor en la conexión en estrella es igual a 1/3 de la corriente con la conexión en delta.*

*Para la ejecución de la prueba con sobrecarga, y con la intervención del relé térmico, se aconseja emplear el motor DL -2102A equipado con dispositivo de frenaje manual.*



Conexión en estrella



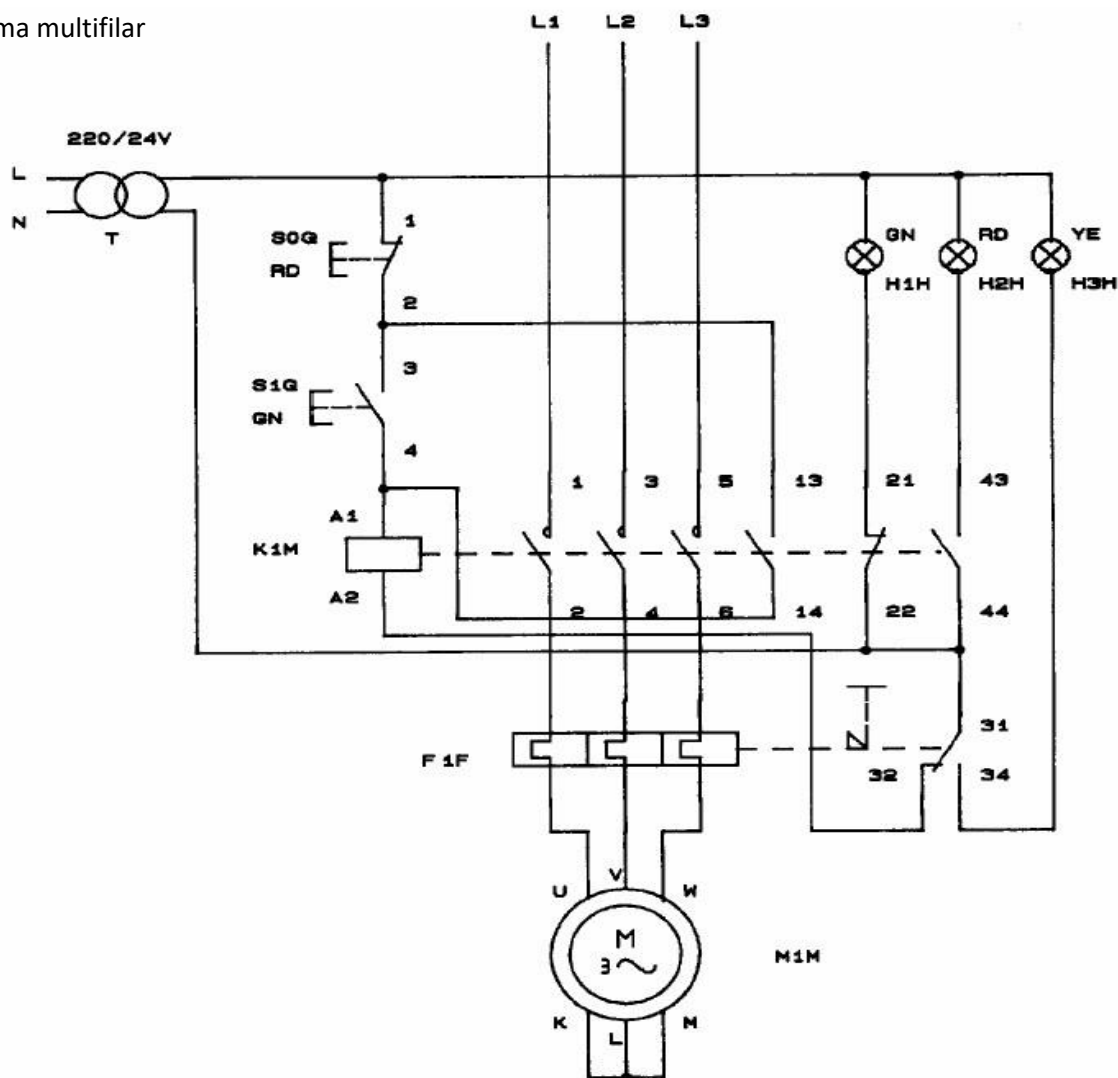
Conexión en delta

El motor *DL-2102A* debe tener el embobinado del motor rotórico conectado en corto circuito y el del estatórico en delta.

El relé térmico viene predispuesto para el rearme manual y ajustado para una corriente de alrededor 2.2 A para dicho motor.

Después de haber arrancado el motor DL 2102TA se procede a su frenaje manual hasta obtener la intervención del relé térmico.

Esquema multifilar



Cuestionario.

1. El contacto auxiliar 31-32 del relé térmico, ¿está en serie o en paralelo con la bobina del contactor K1M?
2. ¿Cómo interviene el relé térmico cuando está sujeto a una corriente superior para la cual está ajustado?
3. ¿Porqué está conectado un relé térmico en el circuito de alimentación del motor?

### Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.

## 3.6 ARRANQUE MANUAL ESTRELLA DELTA

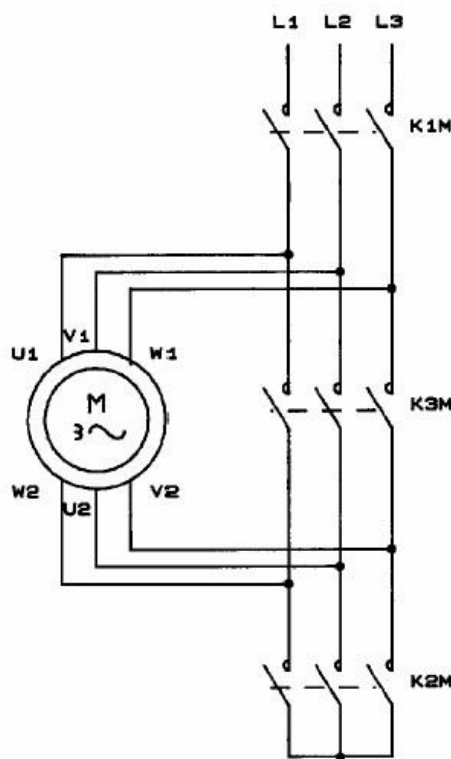
### P7. ARRANQUE MANUAL ESTRELLA/DELTA

#### Objetivos.

Armado un circuito de control que permita el arranque de un motor asíncrono trifásico con rotor en corto circuito.

#### Desarrollo Teórico.

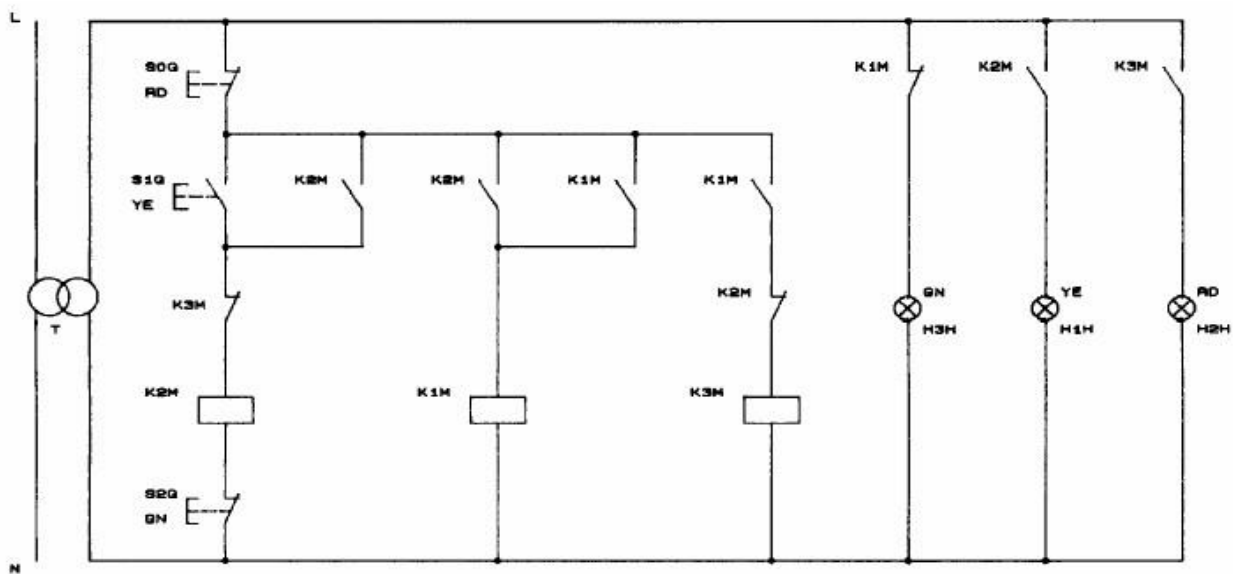
El arranque estrella/delta es posible sólo para los motores que tienen bobinados estáticos para conectar en delta a la tensión de red.



Durante la fase de arranque el estator está conectado en estrella mediante el contactor K2M, por lo que la tensión de fase es reducida y por consecuencia se tiene un menor consumo de corriente.

Después que el motor ha arrancado, se abre el contactor K2M y se cierra el K3M, pasando así de la conexión en estrella a la delta, con lo cual se obtiene el par de trabajo nominal.

Esquema funcional del circuito de control y señalización



En condición de circuito desenergizado, los contactores K1M, K2M y K3M están desactivados y la lámpara verde H3H se encuentra encendida. .

Cuando se oprime el pulsador amarillo S1Q se alimenta la bobina del contactor K2M que cierra los contactos de potencia realizando la conexión en estrella, además de los contactos de retención; la lámpara verde se apaga, se enciende la amarilla H1H y se alimenta la bobina del contactor K1M de red, por lo que el motor arranca.

Nótese que los contactos de interbloqueo, K3M y K2M, se encuentran en serie con la bobina K3M para evitar el corto circuito en la red de alimentación con el cierre simultáneo de los contactos de potencia K2M y K3M.

Después de haber alcanzado la velocidad deseada, se oprime el pulsador verde S2Q que desexcita la bobina K2M, permitiéndose así la excitación de la K3M y pasando a la conexión en delta del motor; se apaga entonces la lámpara amarilla H1H, se enciende la roja H2H y el motor gira a pleno par.

Para parar el motor es suficiente oprimir el pulsador rojo S0Q que interrumpe el circuito de alimentación de todas las bobinas, haciendo que el sistema vuelva a la condición de circuito desenergizado.

### **Materiales y Equipo.**

- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- 3 Contactores: K1M, K2M y K3M.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 3 Pulsadores: S0Q, S1Q y S2Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Motor de inducción trifásico: M1M.
- Cables de conexión.

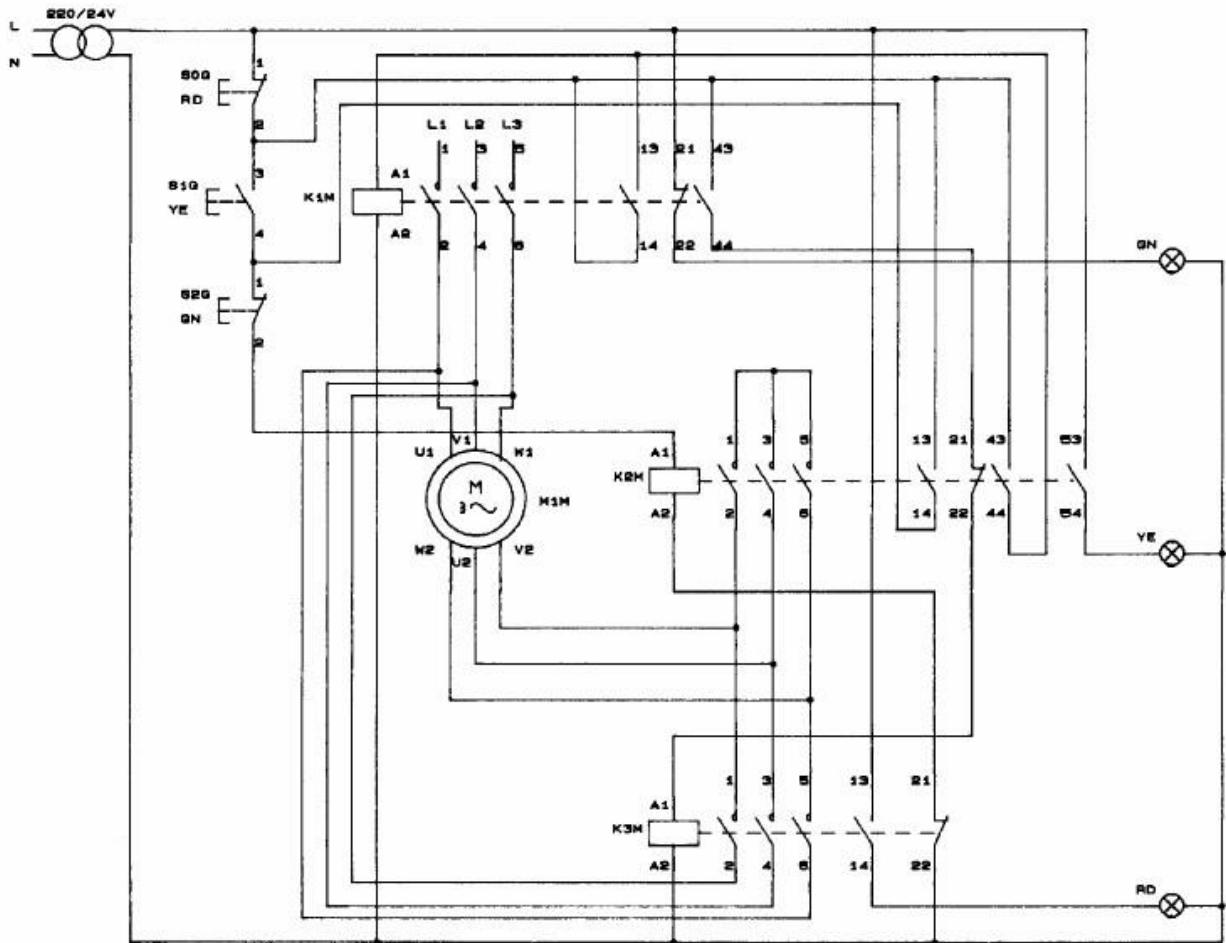
### **Desarrollo Práctico.**

Armar el circuito de arranque estrella/delta y verificar su funcionamiento.

*Nota: Para la ejecución de la prueba se puede utilizar cualquier motor asíncrono trifásico con rotor en corto circuito y en condición de soportar la tensión de red con la conexión estatórica en delta.*

*Si se utiliza el motor DL-2102A se deben cortocircuitar los bornes rotóricos K, L, M.*

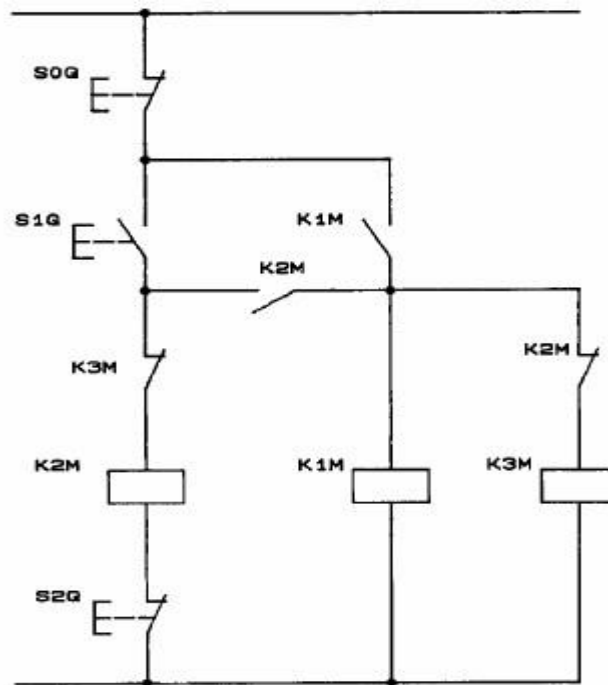
Esquema multifilar:





Esquema de control simplificado :

En la práctica, para ahorrar algunos contactos auxiliares se pueden aprovechar los contactos de autoretención con funciones múltiples.



Se puede apreciar que cuando se oprime el pulsador S1Q, se excita la bobina K2M que cierra el contacto de trabajo K2M, excitando a su vez la bobina K1M. Esta bobina provee a la autoretención con el contacto de trabajo K1M, que ahora resulta en serie con el K2M para la autoalimentación de la bobina K2M.

Cuestionario

1. ¿Cómo están conectadas las fases estáticas del motor al momento del arranque?.
2. Según el circuito, ¿cómo se pasa de la conexión en estrella a la conexión en delta?.
3. ¿Cual es la función del contacto 21/22 del contactor K2M?.
4. ¿Qué pasa si se alimenta el motor después de haber conectado W1 a L1 y V1 a L2?.
5. ¿Qué pasa si se alimenta el motor después de conectar W1 a L1, U1 a L2 y V1 a L3?.



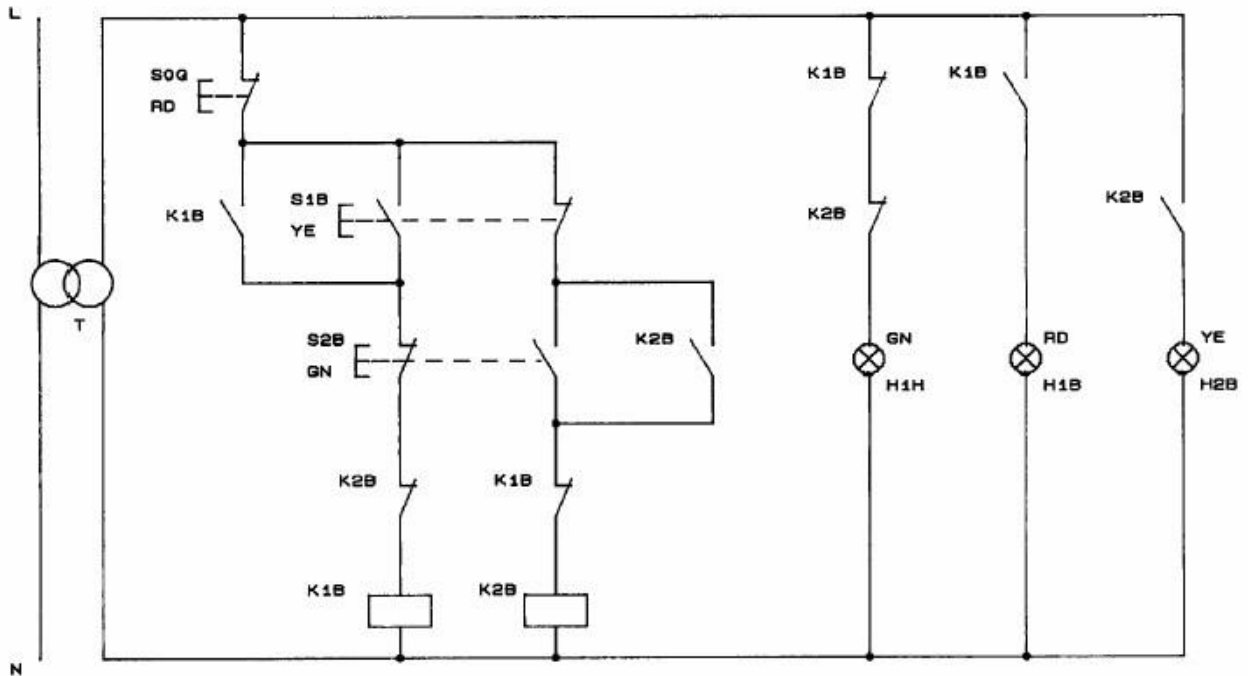
Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.



Cuando está actuado el contactor K1 el motor gira en un sentido, mientras que cuando está actuado el K2 el motor girará en el sentido opuesto. Con el fin de evitar que se puedan cerrar simultáneamente los dos contactores, se debe prever también un circuito de interbloqueo.

Esquema funcional del circuito de control y señalización



En condición de circuito desenergizado, los contactores K1B y K2B están desactivados y la lámpara verde H1H se encuentra encendida.

Cuando se oprime el pulsador amarillo S1B se excita la bobina del contactor K1B de marcha normal (sentido de rotación horario), que cierra los contactos de potencia y activa los auxiliares; entonces se provoca la retención, se apaga la lámpara verde y se enciende la roja H1B, mientras que el motor arranca.

Para llevar a cabo el cambio de rotación o mando de marcha inversa, se debe primero parar el motor oprimiendo el pulsador S0Q; esto también se logra oprimiendo el pulsador S2B. La

bobina K2B no puede alimentarse dado que se encuentra abierto el contacto K1B con el cual está en serie. (Al oprimir lentamente el pulsador verde, primero se pasará a la condición de circuito desenergizado y luego al de marcha inversa).

Presionando entonces el pulsador S2B, después de que el sistema ha vuelto a las condiciones de circuito desenergizado, se obtiene la condición de marcha inversa porque ahora es posible excitar la bobina del contactor K2B; se provoca la retención, se apaga la lámpara verde y se enciende la amarilla, entonces el motor arranca en el sentido contrario al anterior.

### **Materiales y Equipo.**

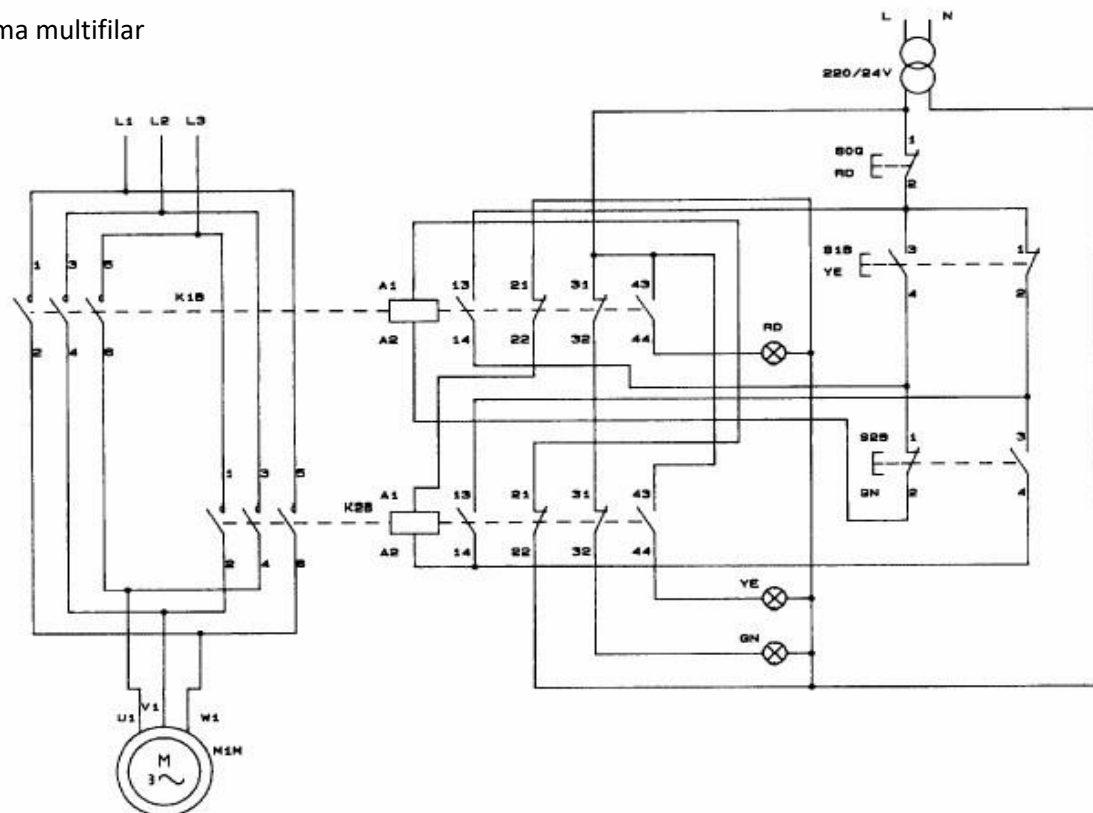
- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- Contactores: K1M y K2M.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 3 Pulsadores: S0Q, S1Q y S2Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Motor de inducción trifásico: M1M.
- Cables de conexión.

### **Desarrollo Práctico.**

Armar el circuito inversor y verificar su funcionamiento.

*Nota: Para la ejecución de la prueba se puede utilizar cualquier motor asíncrono trifásico con rotor en corto circuito. Si se utiliza el motor DL-2102A se deben cortocircuitar los bornes rotóricos K, L, M y llevar a cabo la conexión estatórica en estrella o en delta en función de la tensión de la red.*

Esquema multifilar



Cuestionario

1. Si después de haber alimentado el circuito se oprime el pulsador S1B, el motor empieza a rotar en un sentido, ¿qué pasa si se oprime el pulsador S2B?.
2. ¿Qué pasa si se oprime el pulsador S0Q mientras el motor rota?.
3. Las bobinas de los contactores K1M y K2M, ¿están en serie o en paralelo?.
4. Si después de haber alimentado el circuito se oprime el pulsador S2B, el motor comienza a rotar en un sentido. ¿Qué pasa si se oprime el pulsador S1B?.

Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.

### 3.8 Temporización con retardo de excitación

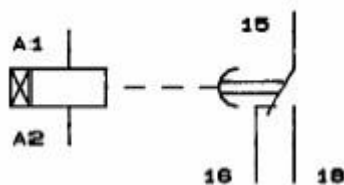
#### P.9 TEMPORIZADOR CON RETARDO A LA EXCITACIÓN

Objetivos.

Conocer el funcionamiento de un temporizador con retardo a la excitación.

Desarrollo Teórico.

Símbolo gráfico

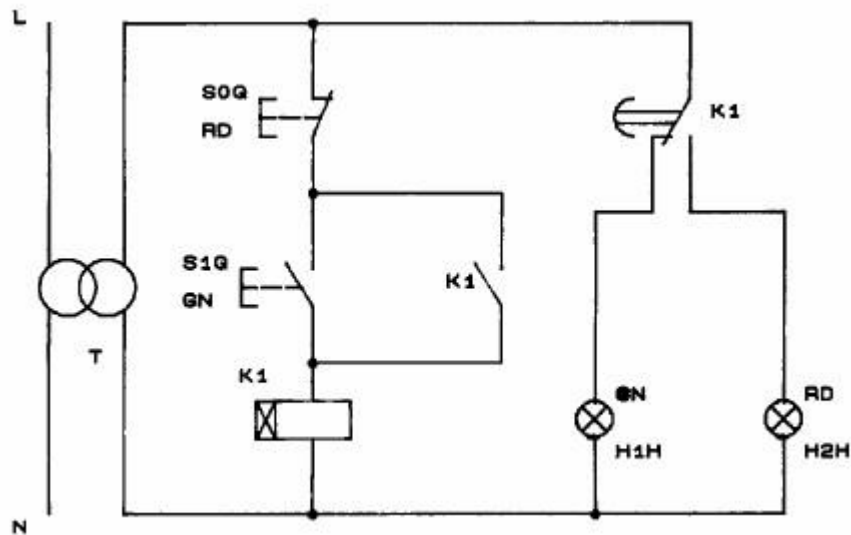


El relé de tiempo se utiliza en todos los procesos automáticos en los cuales resulta necesario programar la duración del accionamiento.

En condiciones de reposo se encuentra cerrado el contacto 15/16. Después de haber excitado la bobina, se libera el mecanismo que, sólo después del tiempo T prefijado, hace cerrar el contacto 15/18.

En cuanto se desexcita la bobina, el temporizador vuelve a la condición de reposo.

Esquema funcional :



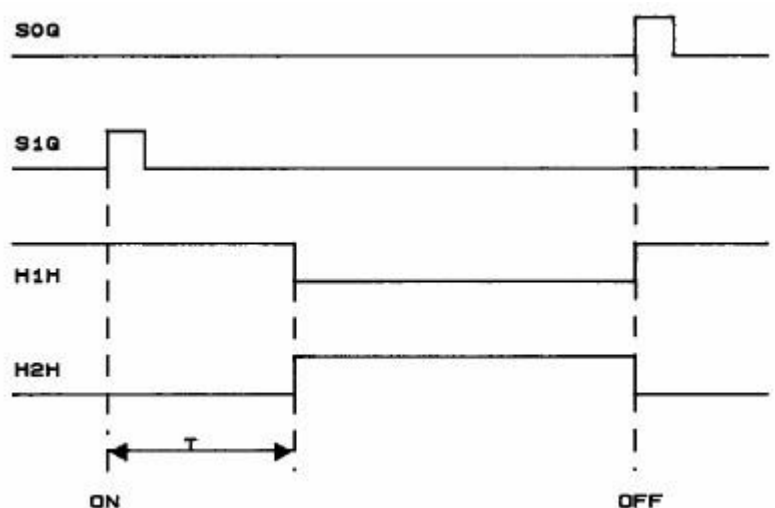
En condición de circuito desenergizado, el contactor K1 está desactivado y la lámpara verde H1H se encuentra encendida.

Cuando se oprime el pulsador verde S1Q se excita la bobina del contactor K1 con el consiguiente accionamiento de sus contactos móviles, y se cierra el contacto de autoretención en paralelo al pulsador S1Q. La lámpara verde en cambio permanece encendida por todo el tiempo T programado. Después de que se verifica el contacto de intercambio retardado, se apaga la lámpara verde y se enciende la roja H2H.

Para volver a las condiciones iniciales de reposo es suficiente oprimir el pulsador rojo S0Q.



### Diagrama temporal



### Materiales y Equipo.

- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- Contactor con temporizador: K1.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 2 Pulsadores: S0Q y S1Q.
- 2 Lámparas de señalización: H1H y H2H.
- Cables de conexión.

### Desarrollo Práctico.

Armar el circuito de control del temporizador con su correspondiente señalización y verificar su funcionamiento.

*Nota. Mediante el tornillo de regulación se elige el retardo  $T$  deseado.*



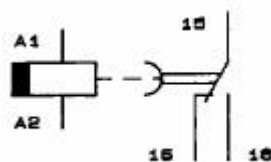
## P.10 TEMPORIZADOR CON RETARDO A LA DESEXCITACIÓN

### Objetivos.

Conocer el funcionamiento de un temporizador con retardo a la desexcitación.

### Desarrollo Teórico.

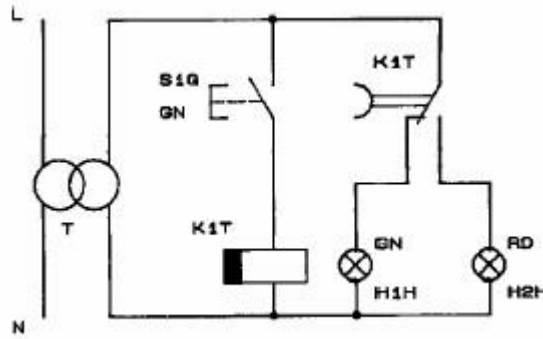
Símbolo gráfico



El relé de tiempo se utiliza en todos los procesos automáticos en los cuales resulta necesario programar la duración del accionamiento.

En condiciones de reposo se encuentra cerrado el contacto 15/16. Después de haber excitado la bobina, se cierra el contacto 15/18. Después de la desexcitación de la bobina, se libera el mecanismo y entonces solamente después de que ha transcurrido el tiempo  $T$  prefijado, se regresa a la condición de reposo.

Esquema funcional

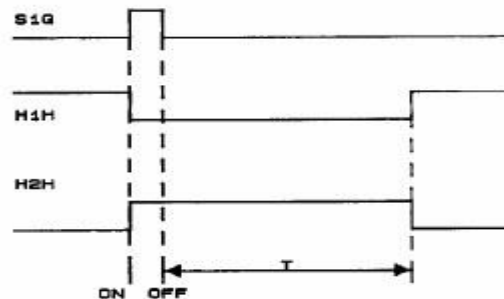


En condición de circuito desenergizado, el contactor K1T está desactivado y la lámpara verde H1H se encuentra encendida.

Cuando se oprime el pulsador verde S1Q se excita la bobina del contactor K1T con el consiguiente accionamiento de sus contactos móviles, y se apaga la lámpara verde encendiéndose la roja H2H.

El relé se excita mediante un impulso y por lo tanto la lámpara roja permanece encendida por todo el tiempo programado. Después de que se provoca el contacto de intercambio retardado, se apaga la lámpara roja y se enciende la verde, volviendo así a la condición de reposo.

Diagrama temporal







### Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica.

## 3.9 Control secuencial temporizado

### P.11 CONTROL SECUENCIAL TEMPORIZADO

#### ARRANQUE AUTOMÁTICO ESTRELLA/DELTA

##### Objetivos.

Construir un circuito de control que permita el arranque automático de un motor asíncrono trifásico con rotor en corto circuito, con protección de máxima corriente mediante relé térmico.

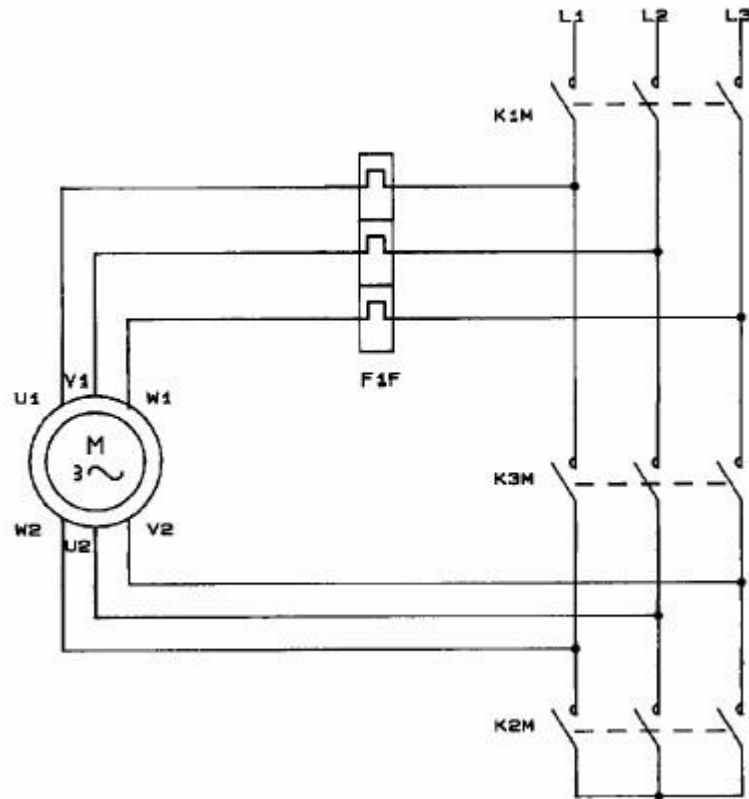
##### Desarrollo Teórico.

##### Circuito de potencia

Para reducir la corriente absorbida por el motor durante la fase de arranque, se efectúa antes la conexión en estrella de los embobinados estatóricos y luego, después de un cierto tiempo, se pasa a la conexión en delta de marcha normal.

Este tipo de arranque puede ser utilizado sólo con motores cuya tensión nominal, con conexión en delta, corresponde a la tensión de red.

Se recuerda que con arranque en estrella el par y la corriente de arranque se reducen a un  $1/3$  del valor normal, por lo que tal tipo de arranque se utiliza, sin inconvenientes, cuando es bajo el par resistente al arranque.

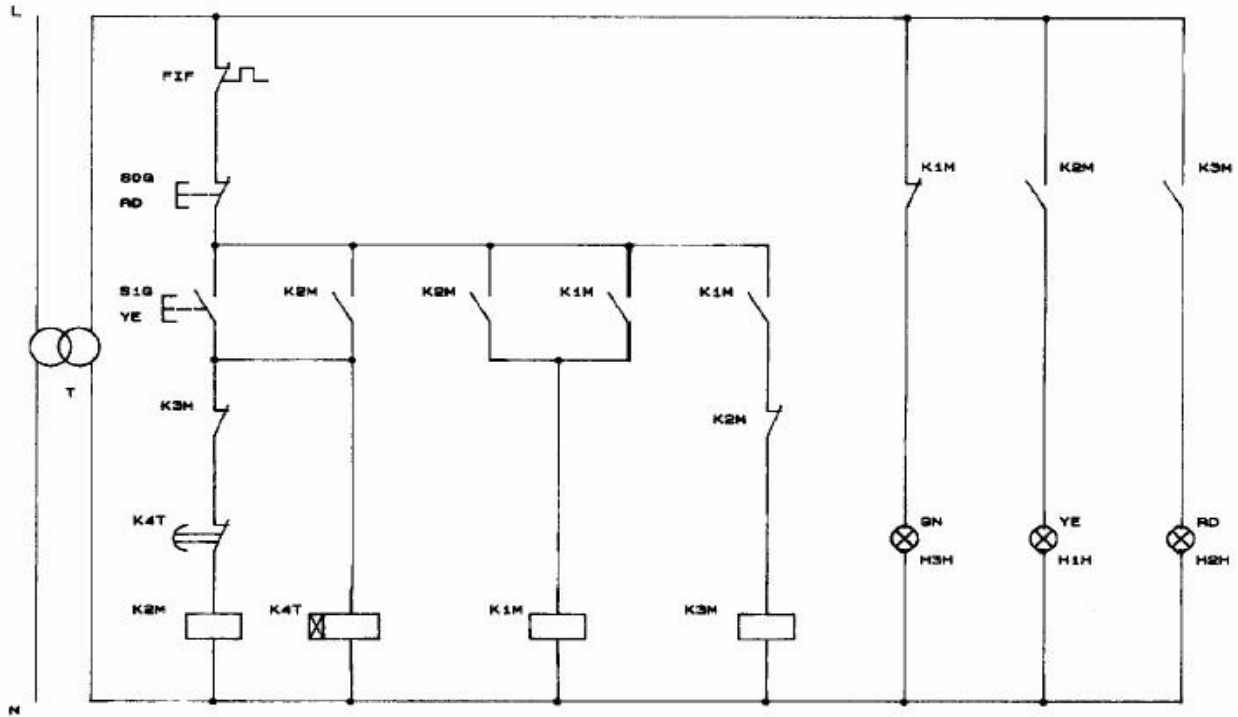


Durante la fase de arranque el estator está conectado en estrella mediante el contactor K2M, por lo cual la tensión de fase resulta reducida y por consecuencia se tiene un menor consumo de corriente.

Después de que el motor ha arrancado, transcurrido el tiempo prefijado, se abre el contactor K2M y se cierra el K3M, pasando así de la conexión en estrella a la delta, con lo cual se obtiene el par de trabajo nominal.

Esquema funcional del circuito de control y de señalización





En condición de reposo o circuito desenergizado, los contactores K1M y K3M están desactivados, el relé de tiempo K4T está desexcitado y la lámpara verde H3H está encendida.

Cuando se oprime el pulsador amarillo S1Q se alimenta la bobina del contactor K2M que cierra los contactos de potencia realizando la conexión en estrella y acciona los auxiliares; entonces, la lámpara verde se apaga, se enciende la amarilla H1H y se alimenta la bobina del contactor K1M de red, por lo que el motor arranca. Además, se excita el relé de tiempo K4T.

Es importante observar los contactos de interbloqueo K3M en serie con la bobina K2M y el contacto K2M en serie con la bobina K3M, para evitar el corto circuito en la red de alimentación con el cierre simultáneo de los contactos de potencia K2M y K3M.

Después de que ha transcurrido el tiempo prefijado se abre el contacto retardado K4T que desexcita la bobina K2M, permitiéndose así la excitación de la K3M, pasando a la conexión en delta del motor; entonces, se apaga la lámpara amarilla y se enciende la roja H2H y el motor gira a pleno par.

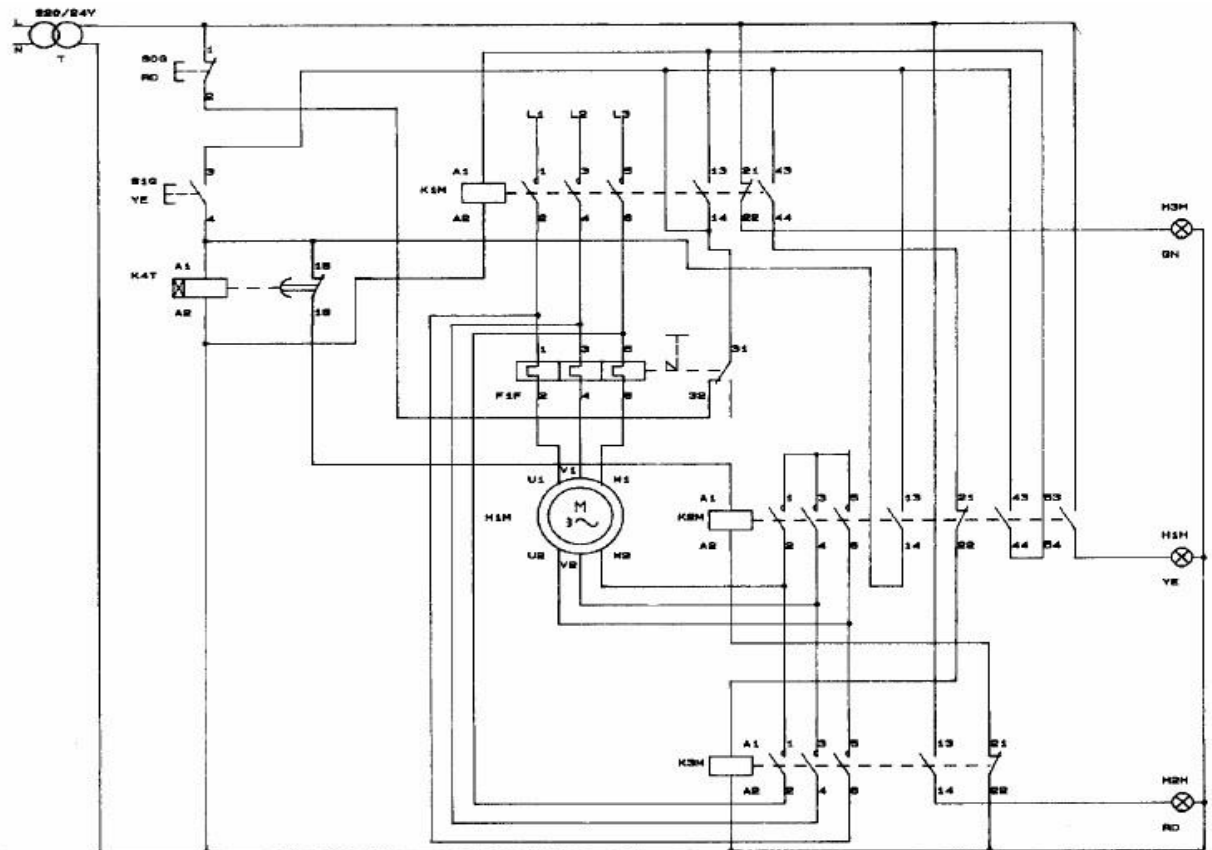
Para parar el motor es suficiente oprimir el pulsador rojo S0Q que interrumpe el circuito de alimentación de todas las bobinas, así que el sistema vuelve a reposo.

### **Materiales y Equipo.**

- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- 3 Contactores: K1M, K2M y K3M.
- Temporizador: K4T.
- Relé térmico: F1F.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 2 Pulsadores: S0Q y S1Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Motor de inducción trifásico DL 2102A: M1M.
- Cables de conexión.

Desarrollo Práctico.

Esquema multifilar



Cuestionario

- 1). ¿Cómo están conectadas las fases estáticas del motor al momento del arranque?.
- 2). ¿Cómo se pasa de la conexión en estrella a la en delta?.
- 3). ¿Para qué sirve el contacto 21/22 del contactor K2M?.



Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica

### 3.11 Arranque Manual y Automático con Resistencias Rotoricas

#### P.12 ARRANQUES MANUAL Y AUTOMÁTICO CON RESISTENCIAS ROTÓRICAS

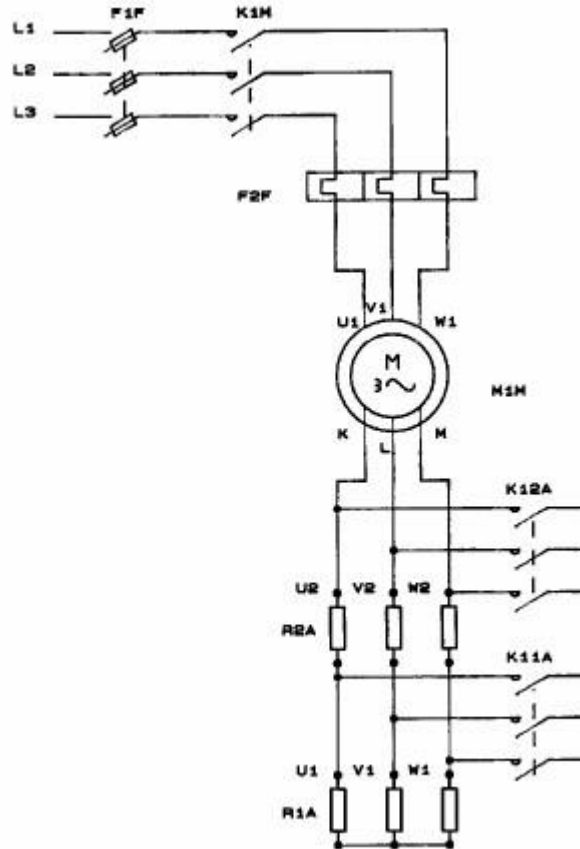
##### Objetivos.

Amar el circuito de control gradual de un reóstato que permita el arranque de un motor asíncrono trifásico con rotor en anillos. Posteriormente, armar el circuito de automatización para dicho circuito.

##### Desarrollo Teórico.

##### Circuito de potencia

Para reducir la corriente y aumentar el par de arranque, se encuentran insertadas las resistencias en el circuito rotórico del motor; éstas resistencias deben ser gradualmente desinsertadas con el aumento de la velocidad, hasta su completa exclusión, con el consiguiente corto circuito de los embobinados de rotor.



El estator está conectado en delta (compatible con la tensión de red), mientras el motor completo está protegido contra los cortos circuitos mediante el seccionador de fusibles F1F y contra las sobrecargas prolongadas mediante el relé térmico F2F.

En el arranque, el reóstato rotórico está conectado en estrella y se encuentra completamente insertado (contactores K11A y K12A desactivados).

Después de haber alimentado el motor (seccionador F1F y contactor K1M operados), el arranque manual se realiza excluyendo antes la sección R1A del reóstato (contator K11A cerrado) y luego la R2A (contactor K12A cerrado); desde este momento el embobinado rotórico se cortocircuita y el motor funciona a la velocidad de régimen como un simple motor en jaula.

Reóstato de arranque

El reóstato de arranque está por lo regular dimensionado en función de las condiciones de carga que se verifican durante el arranque. Existen así reóstatos de arranque de media carga, de plena carga y también de sobrecarga.

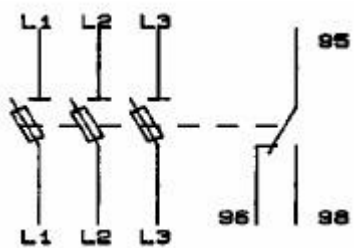
Si se utiliza el motor DL2102TA, éste ya está dotado de reóstato de arranque a medio par con dos gradinos y conmutador para mando manual.

Posición del conmutador Reóstato

- 1 Todo insertado.
- 2 Excluído el gradino R1A.
- 3 Todo excluído.

Seccionador de fusibles

El seccionador es un dispositivo que se utiliza para abrir o cerrar un circuito y debe ser maniobrado solamente cuando la instalación está en vacío, es decir, en ausencia de carga.

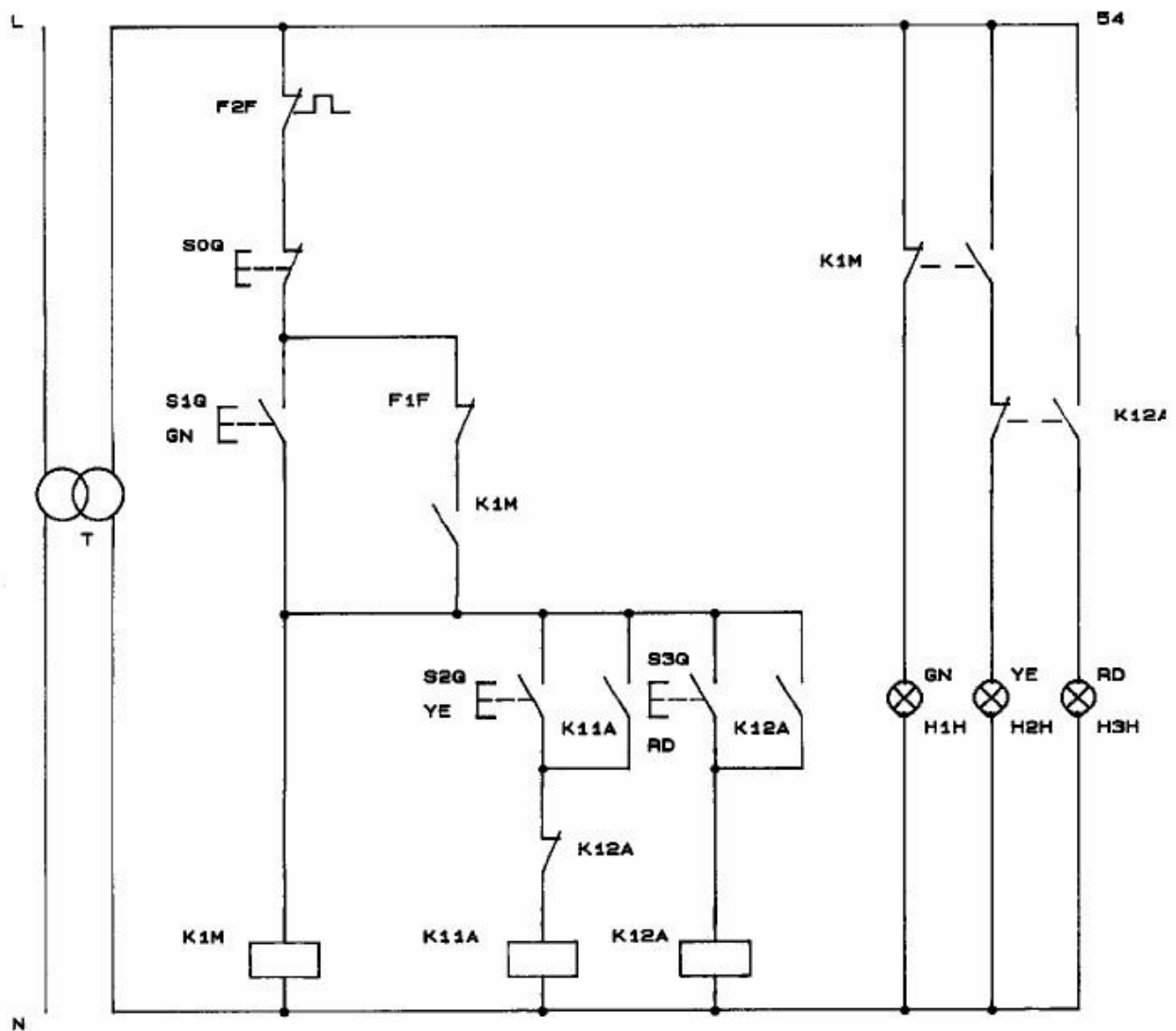


Los contactos de seccionamiento pueden efectuarse mediante fusibles; por lo tanto, el seccionador con fusibles incorporados puede ser útil y empleado también como protección contra los cortos circuitos, cuando éste tipo de protección no está presente en la red.

El seccionador tiene además un contacto auxiliar anticipado que puede ser utilizado como interbloqueo en el sentido de que antes de accionar el seccionador se debe abrir un interruptor.

Esquema A. Arranque manual.

Esquema funcional del circuito de control y de señalización





En condición de reposo o circuito desenergizado, los contactores K1M, K11A y K12A están desactivados y la lámpara verde H1H encendida.

Estando el seccionador F1F insertado, cuando se oprime el pulsador verde S1Q se alimenta la bobina del contactor K1M con el consecuente accionamiento de sus contactos móviles; se cierra el circuito de potencia y de autoretención. El motor arranca con el reóstato rotórico todo insertado, se apaga la lámpara verde y se enciende la amarilla H2H.

Después de que el motor ha adquirido velocidad, oprimiendo el pulsador amarillo S2Q se desinserta la sección R1A del reóstato; la lámpara amarilla permanece encendida.

Oprimiendo el pulsador rojo S3Q se excluye completamente el reóstato de arranque y el rotor se cortocircuita, así que el motor funciona a la velocidad normal; se apaga la lámpara amarilla y se enciende la roja H3H.

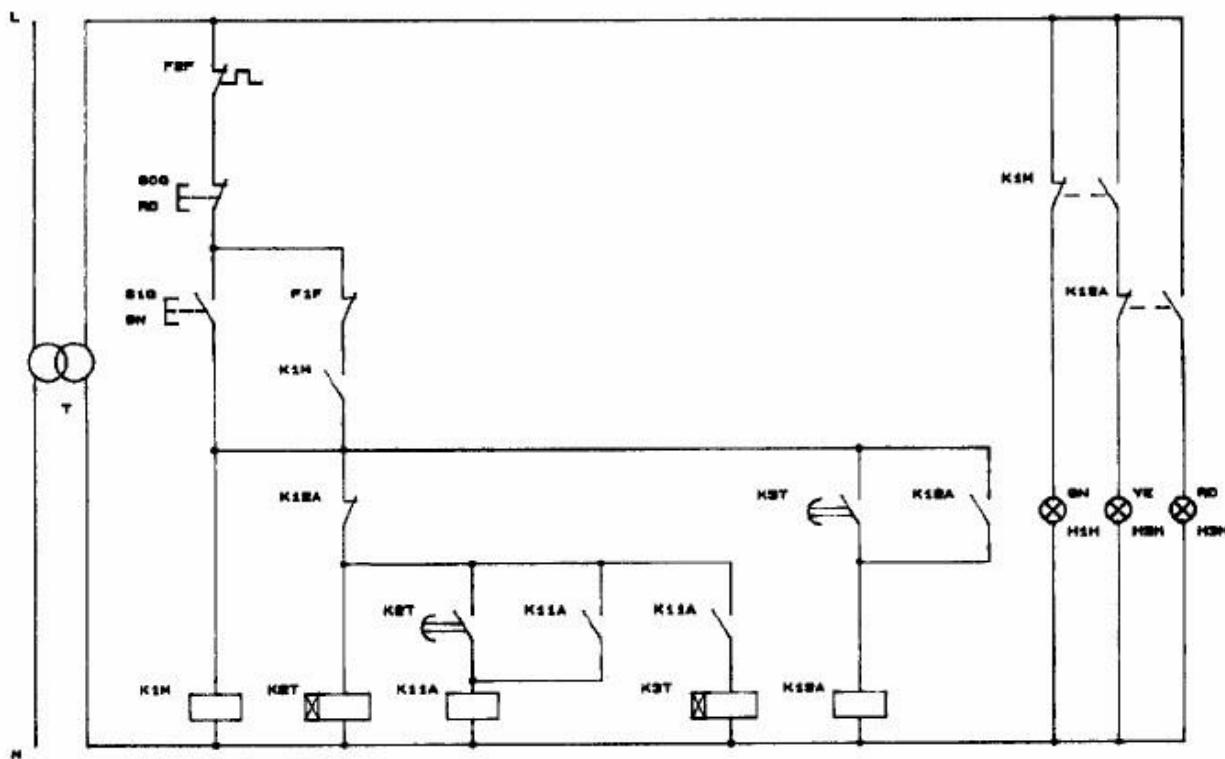
Al terminar la maniobra de arranque permanecen excitadas las bobinas de red K1M y la K12A que mantiene el corto circuito rotórico.

Para parar el motor es suficiente oprimir el pulsador de emergencia S0Q que interrumpe la alimentación de todas las bobinas y el sistema vuelve a reposo.

Esquema B. **Arranque automático.**

Esquema funcional del circuito de control y de señalización

La automatización del circuito de control se realiza mediante temporizadores retardados a la excitación que, mediante contactos auxiliares, deben pilotear los contactores de exclusión del reóstato.



En condición de reposo o circuito desenergizado, los contactores K1M, K11A y K12A están desactivados y los temporizadores K2T y K3T están desexcitados; la lámpara verde H1H está encendida.

Estando el seccionador F1F insertado, cuando se oprime el pulsador verde S1Q, se alimenta la bobina del contactor K1M con el consecuente accionamiento de sus contactos móviles; se cierra entonces el circuito de potencia y de autoretención.

El motor arranca con el reóstato rotórico todo insertado, se excita el temporizador K2T, se apaga la lámpara verde y se enciende la amarilla H2H.

Después del retardo prefijado con el temporizador K2T, se cierra el contacto retardado K2T que excita la bobina del contactor K11A; se desinserta así la sección R1A del reóstato y se excita el temporizador K3T, mientras la lámpara amarilla permanece encendida.

Después del retardo prefijado con el temporizador K3T, se cierra el contacto K3T que excita la bobina del contactor K12A; es excluido luego completamente el róstató y el rotor se cortocircuita, así que el motor funciona a la velocidad normal, apagándose la lámpara amarilla y encendiéndose la roja H3H.

Al finalizar la maniobra de arranque permanecen excitadas solamente la bobina de red K1M y la K12A que mantiene el cortocircuito rotórico.

Para parar el motor es suficiente oprimir el pulsador de emergencia S0Q que interrumpe la alimentación de todas las bobinas, así que el sistema vuelve a reposo.

### **Materiales y Equipo.**

#### **Esquema A. Arranque manual.**

- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- 3 Contactores: K1M, K11M y K12M.
- Seccionador con fusibles: F1F.
- Relé térmico: F2F.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- Pulsador de emergencia: S0Q.
- 3 Pulsadores de control: S1Q, S2Q y S3Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Motor de inducción trifásico DL 2102A completo con resóstato: M1M.
- Cables de conexión.

#### **Esquema B. Arranque automático.**

- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- 3 Contactores: K1M, K11A y K12A.
- Temporizador: K2T.
- Contactor con temporizador: K3T.
- Seccionador con fusibles: F1F.
- Relé térmico: F2F.
- Transformador 120/24 Vca: T. - Pulsador de emergencia: S0Q.

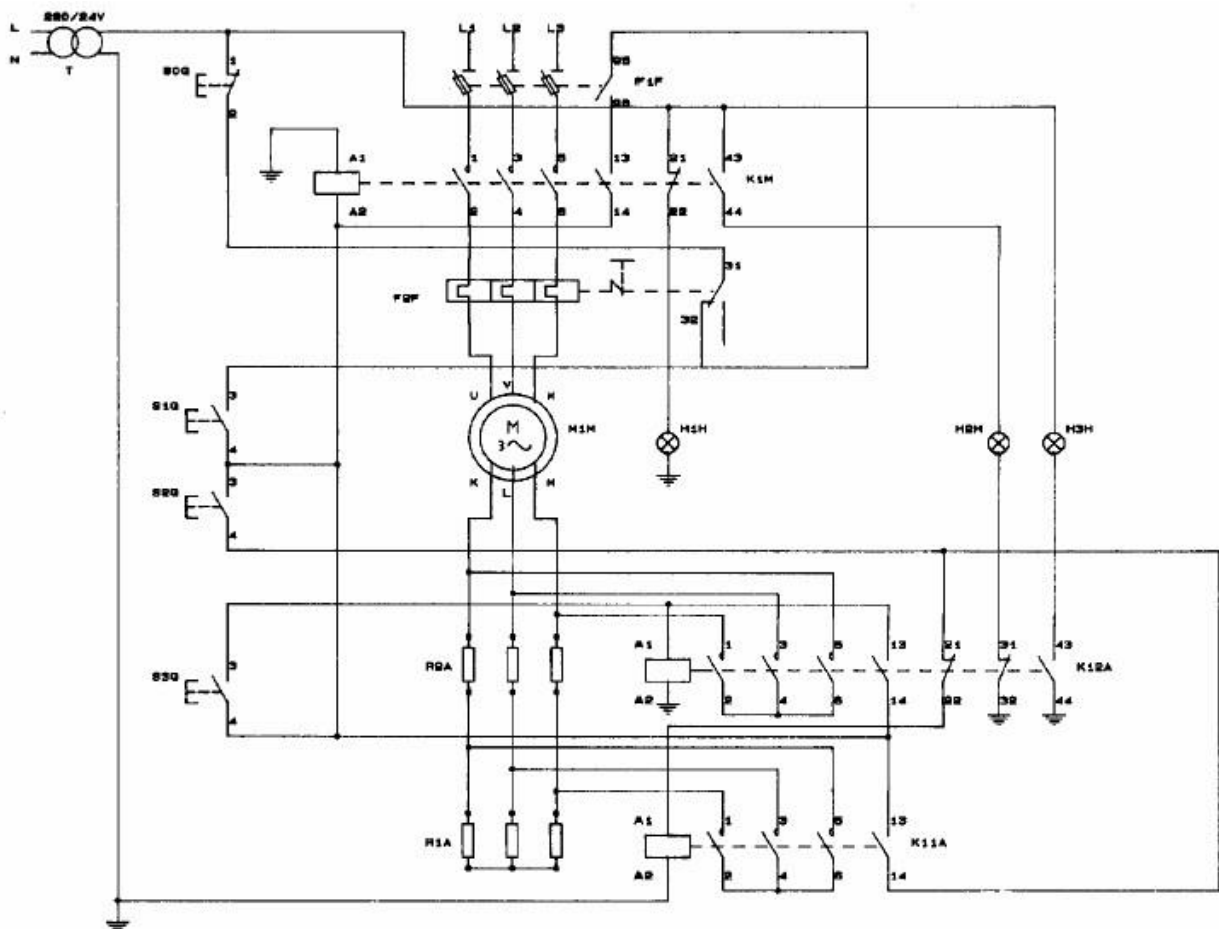
- Pulsador de control: S1Q.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Motor de inducción trifásico DL 2102A completo con resóstato: M1M.
- Cables de conexión.

### Desarrollo Práctico.

Armar los circuitos propuestos y verificar su funcionamiento.

Esquema A. Arranque manual.

Esquema multifilar



**Cuestionario**

- 1). En los motores asíncronos trifásicos con anillos, el reóstato de arranque ¿se conecta a los bornes rotóricos o a los estatóricos?.
- 2). ¿Para qué sirve el seccionador?.
- 3). ¿Para qué sirven los fusibles?.
- 4) ¿Para qué sirve el reóstato de arranque en los motores con anillos?.
- 5) ¿Qué se requiere para parar el motor se necesita?.
- 6) ¿Qué pasa si se abre el seccionador?.

Esquema B. **Arranque automático.**

Esquema multifilar

Teniendo presente el ejercicio del esquema A, diseñar y armar el circuito de arranque automático completo y verificar su funcionamiento.

**Conclusiones.**

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica

### 3.12 Arranque estrella delta con inversor de marcha

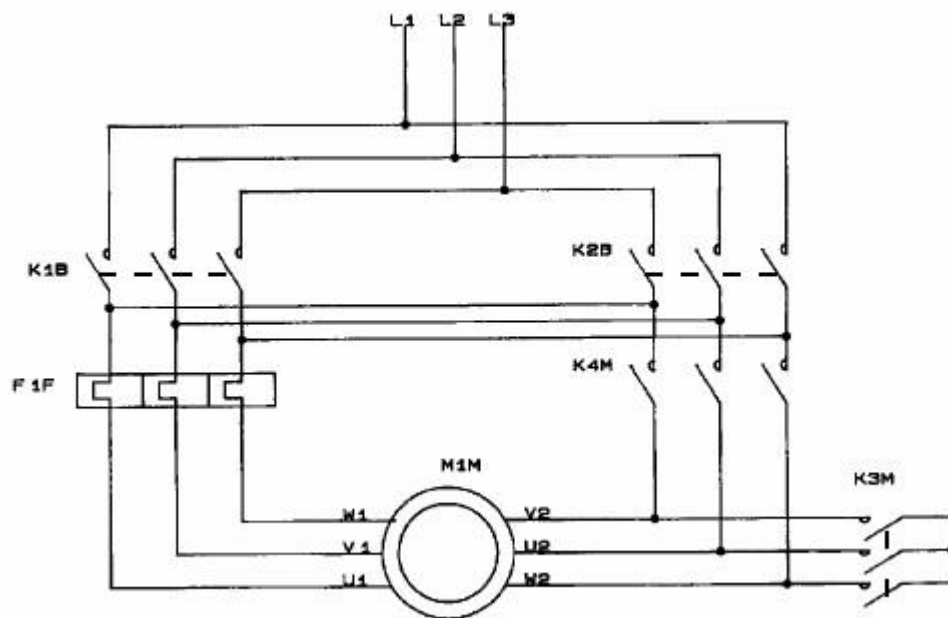
#### P.13 ARRANQUE ESTRELLA/DELTA CON INVERSOR DE MARCHA

##### Objetivos.

Armar un circuito de arranque automático estrella/delta para un motor síncrono trifásico con inversor de marcha.

##### Desarrollo Teórico.

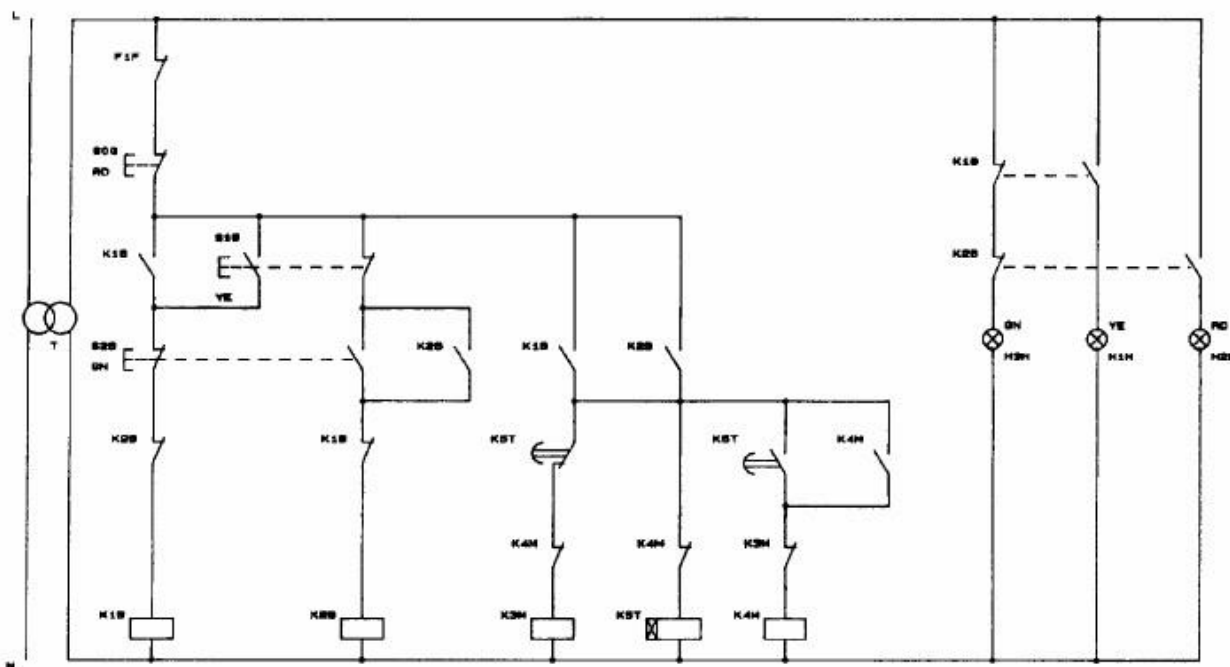
Circuito de potencia



El sentido de marcha depende del cierre del contactor de red K1B o bien K2B, que evidentemente no deben nunca poderse cerrar simultáneamente.

Se recuerda que durante la fase de arranque, el estator debe estar antes conectado en estrella mediante el contactor K3M y luego en delta con la apertura del contactor K3M y el cierre del K4M.

Esquema funcional del circuito de mando y de señalización



En condición de reposo o circuito desenergizado, los contactores K1B (marcha normal), K2B (marcha inversa), K3M y K4M están desactivados, el relé de tiempo K5T está desactivado y la lámpara verde H3H está encendida.

Para la marcha normal se oprime el pulsador amarillo S1B; con ello se alimenta la bobina del contactor de red K1B que se autoretiene y se excita la bobina del contactor K3M para la estrella, además de la bobina del relé de tiempo K5T. Entonces, el motor arranca, se apaga la lámpara verde y se enciende la amarilla H1H.

Después de que ha transcurrido el tiempo prefijado, tiene lugar el contacto de intercambio retardado K5T que desexcita la bobina K3M y excita la del contactor K4M para el delta. El

contactor K4M se autoretiene y simultáneamente desinserta el relé de tiempo; entonces, el motor gira a pleno par.

Para la marcha inversa se debe antes parar el motor oprimiendo el pulsador S0Q. También, oprimiendo el pulsador verde S2B, no se podría excitar la bobina del contactor de red K2B porque existe un interbloqueo entre los contactores K1B y K2B.

Ahora, después de haber oprimido el pulsador S0Q, el sistema de mando vuelve a reposo, el motor para y luego es posible oprimir el pulsador S2B de marcha inversa, obteniendo una secuencia operativa análoga a la fase de marcha normal, con encendido de la lámpara roja.

### **Materiales y Equipo.**

- Fuente de voltaje trifásico 220 Vca con disposición de neutro.
- 4 Contactores: K1B, K2B, K3M y K4M.
- Temporizador: K5T.
- Relé térmico: F1F.
- Transformador 120/24 Vca: T.
- 3 Pulsador de control: S0Q, S1B y S2B.
- 3 Lámparas de señalización: H1H, H2H y H3H.
- Motor de inducción trifásico DL 2102TA: M1M.
- Cables de conexión.

### **Desarrollo Práctico.**

Armar el circuito propuesto y verificar su funcionamiento.

*NOTA : Para la ejecución de la prueba se puede utilizar cualquier motor asíncrono trifásico con rotor en corto circuito y que pueda soportar la tensión de red con conexión en delta.*



*Si se usa el motor DL 2102TA se deben corto circuitar los bornes rotóricos K, L,M.*

### Cuestionario

- 1). ¿Qué función tiene el temporizador?.
- 2). ¿Cuándo es posible la inversión del sentido de marcha?.
- 3). ¿Qué indica la lámpara roja?.
- 4). ¿Cuáles sistemas de interbloqueo están presentes en el circuito de mando?.
- 5). ¿Qué pasa si el temporizador no funciona?.

### Conclusiones.

Escribe tus conclusiones y experiencias de esta práctica

## Bibliografía General.

1. *Principios de Electricidad y Electrónica.*

Preparado por Buck Engineering Co., INC. y supervisado por M.J. DeVito.

Editorial Limusa. Noriega Editores.

México, 1992,

2. *Experimentos con Equipo Eléctrico.*

Theodore Wildi y Michael J. De Vito.

Editorial Limusa.

México, 1987.

3. *Instalaciones Industriales DL 23102.*

Manual de prácticas De Lorenzo Sistemas Didácticos para la Formación Técnica. De Lorenzo.

Italia. 1993.

4. *Circuitos Básicos de Contactores y Temporizadores.*

Vicent Lladonosa.

Editorial Alfaomega marcombo.

Colombia, 1996.

5. *Control Eléctrico de Motores.*

Gilberto Enríquez Harper.

Editorial Limusa. Noriega Editores.

México, 2001.

6. *Reparación de Motores Eléctricos*. Tomo 2.

R. Rosenberg.

Editorial Gustavo Gili.

Barcelona, 1978.

7. *Análisis Introductorio de Circuitos*.

Robert L. Boylestad.

Trillas.

8. *Análisis de Circuitos en Ingeniería*.

W.H. Hayt, Jr. – J.E. Kemmerly

McGraw-Hill