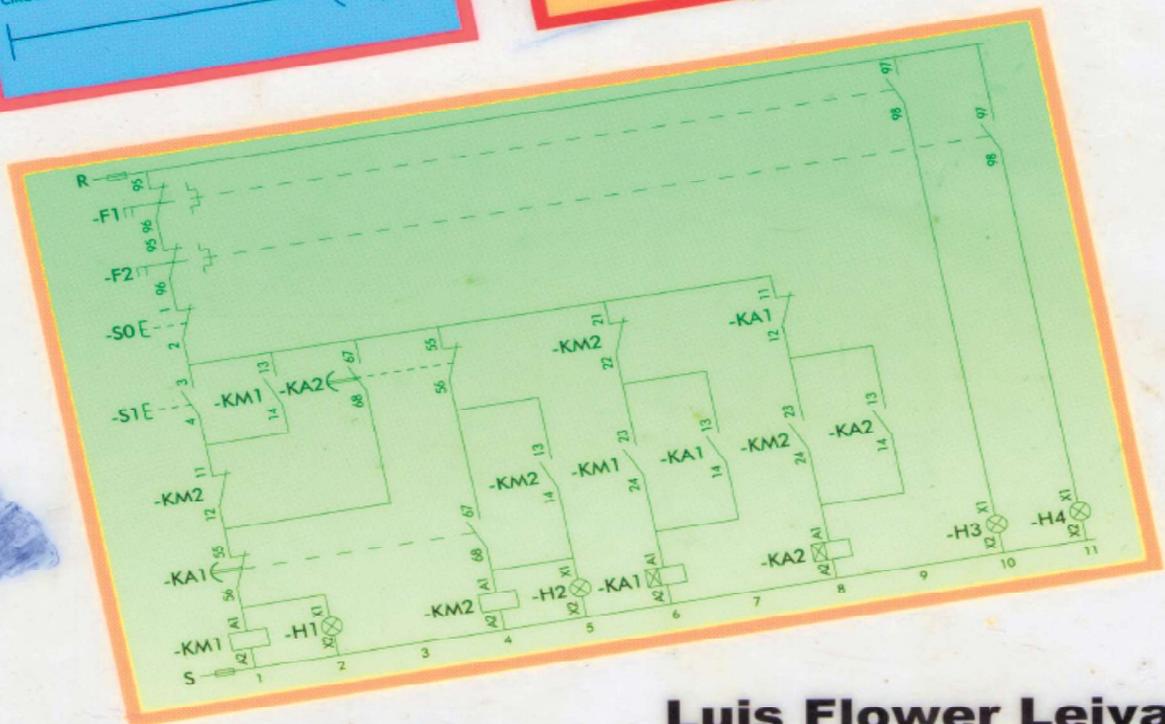
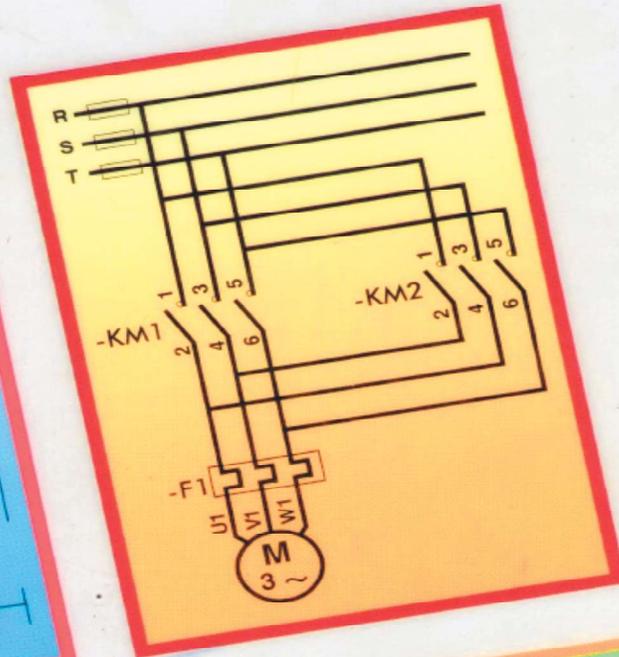
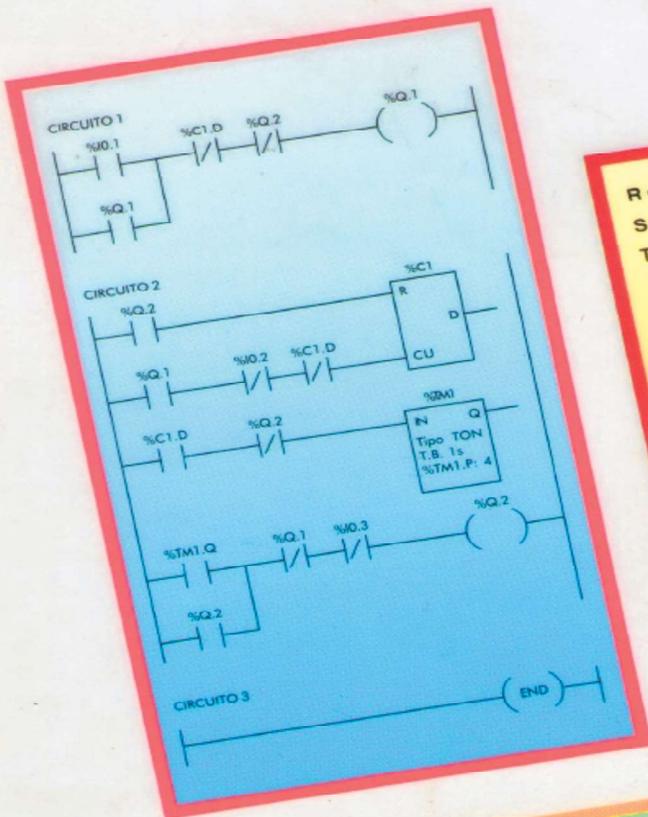


Controles y Automatismos Eléctricos

TEORÍA Y PRÁCTICA



Luis Flower Leiva

INDICE

Prólogo	3
1 Nociones fundamentales de electricidad	7
Corriente eléctrica	7
Corriente alterna	7
Magnitudes eléctricas fundamentales	9
Ley de ohm	11
Potencia eléctrica	12
Ley de watt	12
Potencia en circuitos con A.C.	12
Inductancia y capacitancia	14
Circuitos eléctricos	16
2 Esquemas eléctricos	21
Esquema eléctrico	21
Clases de esquemas	21
Símbolos más usados	25
Algunos esquemas y símbolos usados para programar en un PLC	27
3 Tecnología de controles y automatismos eléctricos	29
Aspectos generales	29
Clases de automatismos	30
Dispositivos que se usan	32
El contactor	33
Elementos de mando	47
Pulsadores	47
Selectores	50
Elementos auxiliares de mando	50
Interruptor de posición o final de carrera	50
Temporizadores o relés de tiempo	52
Presostatos	58
Termostato	58
Programadores	58
Detectores	59
Introducción a los PLC	73
Variadores de velocidad	79
Elementos de protección	80
Elementos de señalización	86
4 Motores asíncronos trifásicos	87
Clasificación de los motores eléctricos	87
Partes del motor asíncrono	88
Arranque de motores con rotor en cortocircuito	89
Arranque directo con un solo sentido de giro	90
Arranque directo con inversión de giro o marcha	90
Arranque por conmutación estrella-triángulo	92
Arranque por resistencias estatóricas	95

Arranque por acoplamiento estrella-resistencias-triángulo	96
Arranque por autotransformador	98
Arranque de motores con rotor bobinado por resistencias rotóricas	99
Motores asíncronos de varias velocidades fijas	100
Motores asíncronos monofásicos	102
5 Ejercicios prácticos	103
Aspectos generales	103
Arranque directo de un motor trifásico	105
Circuito de potencia	105
Circuito de mando	105
Mando por impulso permanente	106
Mando por impulso inicial	109
Mando por impulso inicial desde varias estaciones	113
Mando por impulso inicial y permanente	120
Mando por impulso inicial con un solo pulsador	126
Secuencia manual de dos etapas	128
Procesos secuenciales manuales y automáticos	132
Secuencia manual de tres etapas	133
Circuitos de mando con temporizadores	158
Secuencia automática de dos etapas	158
Secuencia automática cíclica de dos etapas	176
Secuencia manual-automática de dos etapas	186
Secuencia automática FIFO de 2 etapas	195
Secuencia automática LIFO de 2 etapas	199
Esquemas para analizar	203
Secuencias automáticas para diseñar con temporizadores	210
Circuitos de mando con detectores	240
Secuencias automáticas para diseñar con detectores	242
Secuencia automática con motores de reserva	247
Semaforización	251
Inversor de marcha de un motor trifásico	254
Circuito de potencia	254
Circuitos de mando	255
Circuitos de mando automáticos para analizar y diseñar	256
Circuitos de mando con contadores (PLC)	275
Circuitos de mando con programador cíclico(PLC)	282
Otros sistemas de arranque más usados	284
Circuitos de potencia	284
Arranque por conmutación estrella-triángulo	284
Arranque por conmutación de polos	286
Circuitos de mando	288
Anexo N° 1 Intensidad media a plena carga de motores trifásicos	291
Anexo N° 2 Capacidad de conducción de corriente en conductores de cobre	292
Anexo N° 3 Guía de soluciones	293
Anexo N° 4 Guía para la utilización del CD	348

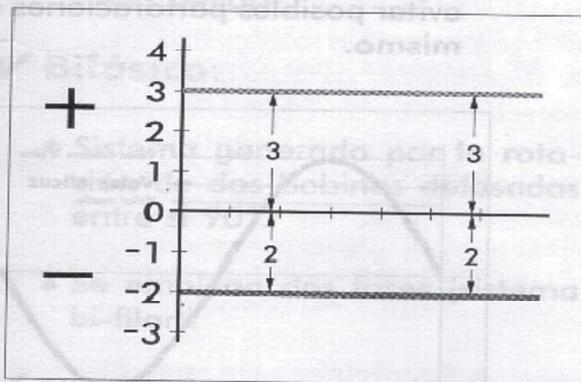
Algunos conceptos básicos que es necesario recordar antes de abordar el tema de los controles y automatismos.

CORRIENTE ELÉCTRICA

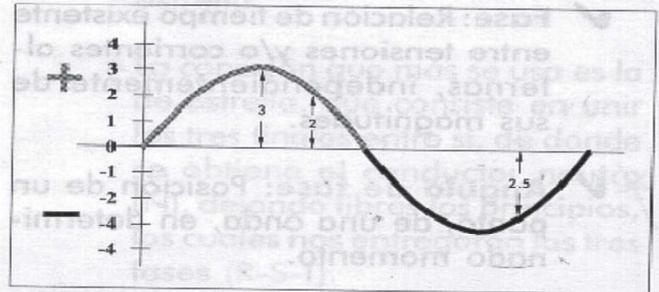
- Es el paso o flujo de electrones a través de un conductor.
- Los electrones se desplazan de un potencial negativo a un potencial positivo (teoría electrónica).

CLASES DE CORRIENTE ELÉCTRICA

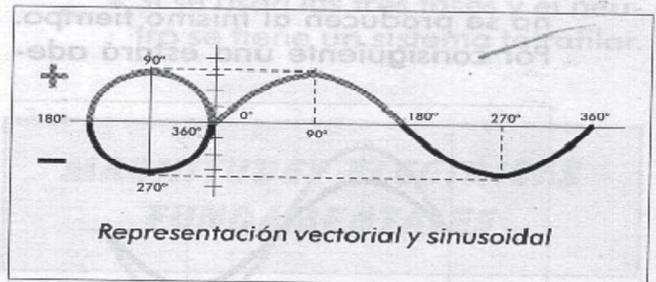
- CORRIENTE CONTINUA (D.C., C.C. ó ---):** Corriente eléctrica que no presenta variación ni en magnitud ni en sentido.



- CORRIENTE ALTERNA (A.C., C.A., ó \sim):** Corriente eléctrica que varía a intervalos periódicos, tanto en magnitud como en sentido.



CORRIENTE ALTERNA



Representación vectorial y sinusoidal

✓ CARACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES:

- ✓ **Ciclo:** Variación completa de la tensión y/o corriente de 0 a un valor máximo positivo y luego a 0, de éste, a un valor máximo negativo y finalmente a 0.
- ✓ **Frecuencia (f):** Número de ciclos que se producen en un segundo. La unidad de medida es el Hertz (Hz), equivalente a un ciclo por segundo.

✓ **Período (T):** Tiempo necesario para que se efectúe un ciclo completo. Se mide en segundos.

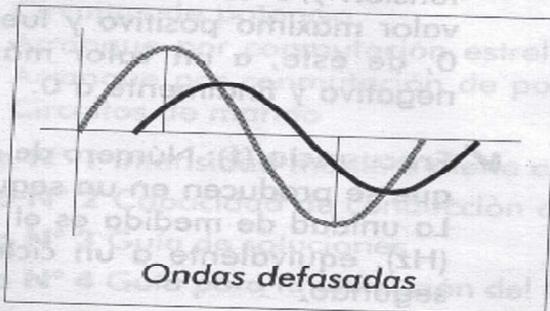
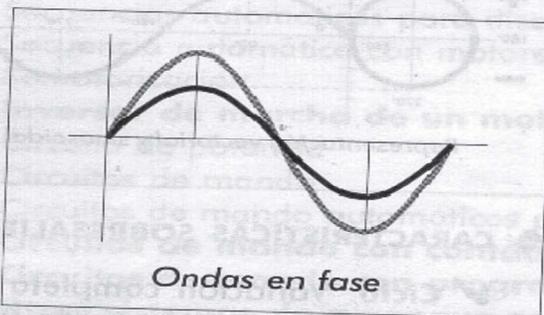
✓ **Longitud de onda (λ):** Distancia que recorre la corriente durante un ciclo.

✓ **Amplitud de onda:** Distancia que hay entre 0 y un valor máximo (positivo o negativo).

✓ **Fase:** Relación de tiempo existente entre tensiones y/o corrientes alternas, independientemente de sus magnitudes.

✓ **Angulo de fase:** Posición de un punto, de una onda, en determinado momento.

✓ **Defasaje:** Dos ondas (que tienen la misma longitud, no necesariamente la misma amplitud) están defasadas si sus valores máximos no se producen al mismo tiempo. Por consiguiente una estará ade-



lantada o atrasada con relación a la otra. Se mide en grados.

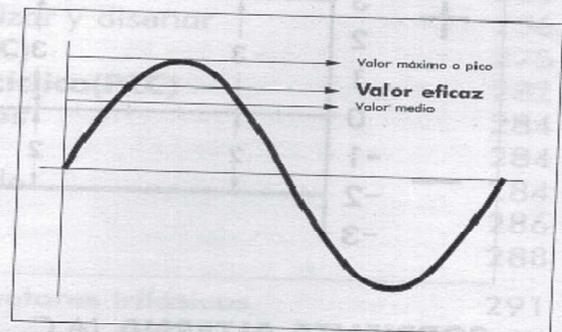
✱ VALORES FUNDAMENTALES:

✓ **Valor instantáneo:** Valor que tiene la tensión o corriente en un instante determinado de un ciclo.

✓ **Valor máximo o pico:** Valor instantáneo máximo que puede alcanzar la tensión o corriente en un semiciclo. Lo determina la amplitud de la onda. Este valor igual a $\sqrt{2}$ ($=1,41$) por el valor eficaz. Es importante tomarlo en cuenta por:

* **Seguridad:** Ya que el valor de la tensión o corriente máxima es bastante mayor que los valores que se toman en cuenta normalmente (valor eficaz). Por ejemplo el valor pico de 208 V es de 294 V, y por consiguiente presenta un mayor peligro.

* **Aislamiento:** El aislamiento de un conductor se fabrica tomando en cuenta el valor pico, para evitar posibles perforaciones del mismo.



✓ **Valor medio:** Es el promedio de todos los valores instantáneos de

medio ciclo. Es igual al valor máximo por 0,637.

- ✓ **VALOR EFICAZ:** Aquel que en un circuito puramente resistivo produce la misma cantidad de calor que la que puede producir una corriente continua del mismo valor.

El valor eficaz se obtiene multiplicando el valor pico por 0,707 o bien dividiéndolo por $\sqrt{2}$.

Es el valor que se usa normalmente cuando nos referimos a la magnitud de una tensión o corriente. Los mismos instrumentos de medición están diseñados para medir valores eficaces.

☛ SISTEMAS MAS USADOS:

✓ Monofásico:

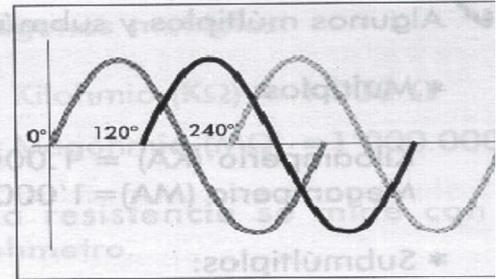
- * Sistema generado por la rotación de una sola bobina.
- * Se emplea una fase y neutro (sistema bifilar).

✓ Bifásico:

- * Sistema generado por la rotación de dos bobinas defasadas entre sí 90° .
- * Se emplean dos fases (sistema bi-filar).

✓ TRIFÁSICO:

- * Sistema generado por la rotación de tres bobinas defasadas entre sí 120° .



* Las bobinas generadoras se pueden conectar en triángulo o estrella.

* La conexión que más se usa es de estrella, que consiste en unir los tres finales entre sí, de donde se obtiene el conductor neutro (N), dejando libres los principios los cuales nos entregarán las tres fases (R-S-T).

* Si se emplean solamente las tres se obtiene un sistema trifásico.

* Si se usan las tres fases y el neutro se tiene un sistema tetrafásico.

MAGNITUDES ELECTRICAS FUNDAMENTALES

☛ **INTENSIDAD, amperaje o corriente (I):**

✓ Cantidad de electrones que circulan por un conductor en unidad de tiempo.

✓ **AMPERIO (A):** (unidad básica para medir intensidades) es el paso de un coulombio ($=6,28 \times 10^{18}$ electrones) en un segundo a través de un conductor.

✓ Algunos múltiplos y submúltiplos:

* Múltiplos:

Kiloamperio (KA) = 1.000A
Megamperio (MA) = 1'000.000A

* Submúltiplos:

Miliamperio (mA) = 0,001 A
Microamperio (μ A) = 0,000001A

✓ La corriente se mide con el amperímetro, el cual se conecta en serie, o con la pinza amperométrica.

⚡ **TENSIÓN, voltaje o fuerza electromotriz (E ó U):**

✓ Diferencia de potencial que hay entre dos cargas.

✓ **VOLTIO (V):** (unidad básica para medir tensiones) es la diferencia de potencial que causa el paso de un coulombio para producir un julio de trabajo. En otros términos, voltio es la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos de un circuito, por el cual circula una corriente de un amperio y desarrolla una potencia de un vatio.

✓ Algunos múltiplos y submúltiplos:

* Múltiplos:

Kilovoltio (KV) = 1.000 V
Megavoltio (MV) = 1'000.000 V

* Submúltiplos:

Milivoltio (mV) = 0,001 V
Microvoltio (μ V) = 0,000001 V

✓ La tensión se mide con el voltímetro, que se conecta en paralelo.

En los sistemas trifásicos tetrafilares se tiene:

• **Tensión de fase (EF):** diferencia de potencial entre un conductor de línea (fase) y el conductor neutro (RN - SN - TN).

• **Tensión de línea (EL):** diferencia de potencial entre dos conductores de línea o fases (RS - RT - ST).

La expresión matemática de la relación existente entre estas dos tensiones es:

$$E_F = \frac{E_L}{\sqrt{3}} \quad \text{ó} \quad E_L = \sqrt{3} E_F$$

⚡ **RESISTENCIA (R):**

✓ Oposición o dificultad que ofrece un conductor al paso de la corriente.

✓ Factores que afectan la resistencia de un conductor:

• **Longitud (L):** a mayor longitud, mayor resistencia.

• **Sección (S):** a mayor sección, menor resistencia.

• **Coefficiente de resistividad (ρ):** resistencia específica de cada material.

$$\text{Cobre} = 0,0172 \frac{\Omega}{\text{m/mm}^2}$$

$$\text{Aluminio} = 0,028 \frac{\Omega}{\text{m/mm}^2}$$

Estos tres factores se expresan matemáticamente así:

$$E = \rho \frac{L}{S}$$

✓ **Otros factores que afectan la resistencia:**

- **Temperatura:** dependiendo de los materiales, la temperatura puede aumentar o disminuir la resistencia. Este comportamiento variable da origen a las termoresistencias o termistores.

- ★ **Resistencias NTC (coeficiente negativo de temperatura):** a mayor temperatura, menor resistencia.

- ★ **Resistencias PTC (coeficiente positivo de temperatura):** a mayor temperatura, mayor resistencia.

- **Luz:** a medida que aumenta la luz, disminuye su resistencia. A estos conductores se los denomina fotorresistencias.

- **Tensión:** a mayor tensión aplicada, menor resistencia. A estos conductores se los denomina VDR.

✓ **OHMIO (Ω):** (unidad básica para medir resistencias) es la resistencia que ofrece una columna de mercurio de 1.063 mm de longitud y 1 mm² de sección, al paso de la corriente.

✓ **Algunos múltiplos:**

* Kiloohmio ($K\Omega$) = 1.000 Ω

* Megohmio ($M\Omega$) = 1'000.000 Ω

✓ La resistencia se mide con el óhmetro.

✓ Para medición de grandes resistencias, aislamiento de los conductores y fugas a tierra se usa el megger.

✓ Estos instrumentos se conectan en paralelo, y el circuito en el cual se realiza la medición, debe estar completamente desenergizado.

LEY DE OHM

☞ Hace referencia a la relación existente entre las tres magnitudes fundamentales.



“La intensidad es directamente proporcional a la tensión e inversamente proporcional a la resistencia”.

☞ Su expresión matemática es:

$$I = \frac{E}{R}$$

☞ Cuando la ley de ohm debe aplicarse en circuitos con corriente alterna, que no son puramente resistivos, esta fórmula sufre alguna modificación.

POTENCIA ELÉCTRICA

☞ Trabajo eléctrico realizado en unidad de tiempo.

VATIO o **Watt (W)**: trabajo realizado cuando fluye un amperio, con una diferencia de potencial de un voltio.

✓ Algunos múltiplos:

* Kiloatio (KW) = 1.000 W

* Megavatio (MW) = 1'000.000W

LEY DE WATT

☞ Hace referencia a la relación existente entre la potencia, la corriente y la tensión.



"La potencia es directamente proporcional a la tensión y a la intensidad".

☞ Su expresión matemática es:

$$P = E I$$

☞ En los circuitos con c.c., la potencia absorbida está dada por la ecuación anterior, sin tener en cuenta el tipo de carga.

☞ Relación con la ley de ohm:

Dado que en ambas leyes se emplean, directa o indirectamente, las magnitudes fundamentales, obtendremos las siguientes relaciones:

$$P = \frac{E^2}{R}$$

y

$$P = I^2 R$$

☞ Potencia disipada o pérdida de potencia: energía que no se emplea en algo útil, como por ejemplo el calor producido por bombillos y motores. Está dada por la expresión: $P = I^2 R$.

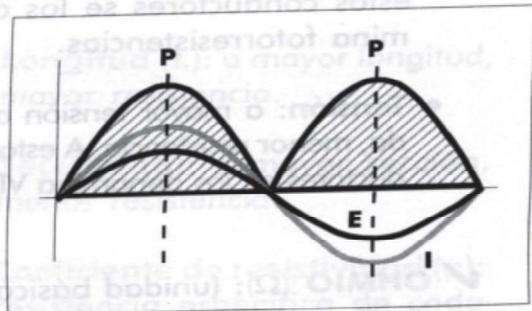
☞ Esta pérdida de potencia se puede reducir:

- disminuyendo la intensidad
- disminuyendo la resistencia

POTENCIA EN CIRCUITOS CON A.C.

☞ **CIRCUITOS RESISTIVOS:**

✓ Como la E y la I están en fase, la potencia será siempre positiva.



Por consiguiente el tratamiento que se le da a la potencia, en principio, es similar al que se le da en

c.c.. La diferencia surge si se toma en cuenta el sistema empleado:

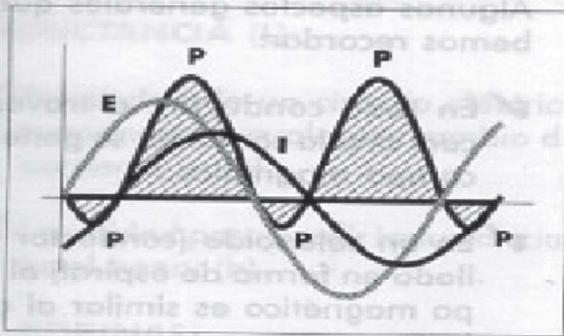
- Monofásico bifilar: $P = I E_f$
- Bifásico: $P = \sqrt{2} I E_L$
- Trifásico: $P = \sqrt{3} I E_L$

✓ La unidad para medir potencias en circuitos resistivos es el VATIO (W).

● CIRCUITOS NO RESISTIVOS:

✓ Circuitos en los cuales encontramos inductancias (bobinas) y/o capacitancias (condensadores).

✓ La presencia de alguno de estos componentes produce un defasaje entre la E y la I, de tal manera que la potencia no siempre es positiva.



✓ En estos casos, parte de la potencia suministrada por la fuente es tomada por las inductancias y/o capacitancias y, en lugar de ser consumida, es almacenada temporalmente, para luego regresar a la fuente, sea por el campo magnético (en las bobinas), o por el campo eléctrico (en los condensadores), por lo cual parte de la potencia suministrada por la fuente se perderá al no usarse.

✓ Este defasaje da origen a diferentes tipos de potencias:

✎ Potencia nominal o aparente (P_{ap}):

★ Potencia suministrada por la fuente.

★ Unidad: el VOLTAMPERIO (VA).

★ Un múltiplo muy usado es el KVA, equivalente a 1.000 VA.

★ $P_{ap} = E I$

donde E e I son valores de fase

✎ Potencia real o efectiva (P_{ef}):

★ Potencia realmente consumida en el circuito.

★ Se toma en cuenta el factor de potencia o $\cos \varphi$ (= ángulo de defasaje entre la E y la I, que nos indica qué parte de la potencia aparente es potencia efectiva).

★ Cuando la E y la I están en fase (ángulo de defasaje 0°) el $\cos \varphi$ es 1.

★ Si la E y la I están defasados 90° el $\cos \varphi$ es 0.

★ Cuando el $\cos \varphi$ es bajo, es necesario corregirlo o mejorarlo, tratando de obtener un $\cos \varphi$ lo más cercano posible a 1.

★ La mejora del factor de potencia se obtiene conectando unos condensadores (banco de condensadores) en

paralelo con las inductancias.

- * El factor de potencia se averigua dividiendo la potencia efectiva entre la potencia aparente:

$$\cos \varphi = \frac{P_{ef}}{P_{ap}}$$

- * Unidades más usadas:

- * Vatio (W). Un múltiplo muy usado es el KW = 1.000 W

- * H.P. (Horse power) equivalente a 746 W

- * C.V. (caballo vapor) equivalente a 736 W

- * $P_{ef} = P_{ap} \cos \varphi$
o bien $P_{ef} = E I \cos \varphi$

☞ Potencia reactiva (Pr):

- * Denominada también potencia desvatiada.

- * No produce potencia, por la presencia de inductancias o capacitancias (el $\cos \varphi$ tiende a 0).

- * Su función es proporcionar un campo magnético o cargar los condensadores.

- * Unidad: el voltamperio reactivo (Var)

- * $P_r = E I \sin \varphi$

- ✓ Potencia en sistemas bifásicos:

- ☞ $P_{ap} = \sqrt{2} E I$

- ☞ $P_{ef} = \sqrt{2} E I \cos \varphi$

donde E é I son valores de línea

- ✓ Potencia en sistemas trifásicos:

- ☞ $P_{ap} = \sqrt{3} E I$

- ☞ $P_{ef} = \sqrt{3} E I \cos \varphi$

donde E é I son valores de línea

- ✓ Rendimiento (η): es igual a la potencia utilizada entre la potencia suministrada. Su valor está dado en %.

- ✓ Cuando se conoce el rendimiento tendremos: $P_{ef} = \sqrt{3} E I \eta \cos \varphi$

INDUCTANCIA Y CAPACITANCIA

● ELECTROMAGNETISMO:

Algunos aspectos generales que debemos recordar:

- ✓ En todo conductor, a través del cual circula corriente, se genera un campo magnético.

- ✓ En un solenoide (conductor arrollado en forma de espiral) el campo magnético es similar al de un imán.

- ✓ Si la corriente que circula por el solenoide es A.C., el campo magnético que se genera cambia constantemente, tanto en magnitud como en polaridad (sentido de las líneas de fuerza).

- ✓ Si un conductor se mueve dentro de un campo magnético, se genera o induce una fuerza electromotriz (FEM) en el conductor, que es directamente proporcional a la:

- intensidad del campo magnético
- longitud del conductor
- velocidad con que se mueve el conductor
- dirección (paralelo o perpendicular a la líneas de fuerza) en que se mueve.

✓ Por estar la FEM inducida defasada 180° de la E aplicada, se la llama también fuerza contraelectromotriz (f.c.e.m.).

✓ La variación constante que se produce en el campo magnético, al circular A.C. por el conductor, produce una autoinducción en éste, que es proporcional a la frecuencia y a la intensidad de la corriente.

INDUCTANCIA (L):

✓ Propiedad de un circuito eléctrico a oponerse a cualquier cambio de corriente en él.

✓ La unidad para medir inductancias es el henry (h).

BOBINAS:

• Son conductores arrollados en forma de espiral, alrededor de un núcleo. Presentan las mayores inductancias.

• Se componen de:

★ **Conductor:** alambre sólido de cobre, generalmente de muy pequeño calibre y revestido con un aislamiento esmaltado.

★ **Núcleo:** elemento que se encuentra en la parte interior de la bobina. Puede ser de un material ferromagnético, aislante o simplemente aire. Cuando el núcleo puede moverse dentro de la bobina, se obtiene una inductancia variable.

• Factores que afectan la inductancia de la bobina:

★ **El núcleo:**

• El material del cual está hecho: si es ferromagnético, el campo magnético se intensifica, por el reforzamiento o suma de las líneas de fuerza producidas por la bobina.

• La sección transversal: cuanto mayor sea el área transversal del núcleo, se obtendrá un mayor número de líneas de fuerza, por consiguiente un mayor campo magnético.

• La longitud: a mayor longitud corresponde un flujo magnético menor.

★ **Las espiras:** la inductancia de una bobina es directamente proporcional al número de espiras, y a la cercanía existente entre ellas.

★ **Intensidad de la corriente:** la intensidad del campo magnético es directamente proporcional a la corriente que circula por la bobina.

Una bobina, considerada como inductancia pura, provoca un defasaje, de atraso, de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

A medida que aumenta la resistencia de la bobina, disminuye el ángulo de defasaje.

✓ **REACTANCIA INDUCTIVA (X_L):** es la oposición que presenta una inductancia al paso de la corriente alterna.

• Se mide en ohmios

$$\bullet X_L = 2\pi fL$$

donde: $2\pi f$ indica la rapidez con que cambia la corriente

✓ Si se aplica la ley de ohm a circuitos inductivos con A.C. se tiene:

$$I = \frac{E}{X_L}$$

⚡ **CAPACITANCIA (C):**

✓ Propiedad de un circuito eléctrico que le permite almacenar energía eléctrica, por medio de un campo electrostático, para liberarlo posteriormente.

✓ La unidad de capacitancia es el faradio (= cuando al aplicar a dos placas 1 voltio, almacena 1 coulombio de carga en cada una de ellas).

✓ Una capacitancia pura provoca un defasaje, de adelanto, de 90° de la corriente con respecto a la tensión.

✓ Los elementos que introducen capacitancia en un circuito se denominan condensadores.

✓ **REACTANCIA CAPACITIVA (X_C):** es la oposición que presentan las capacitancias al flujo de la corriente.

• Se mide en ohmios

$$\bullet X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

donde $2\pi f$ indica la rapidez con que cambia la corriente.

✓ Aplicando la ley de ohm a circuitos capacitivos con A.C. tendremos:

$$I = \frac{E}{X_C}$$

⚡ **IMPEDANCIA (Z):**

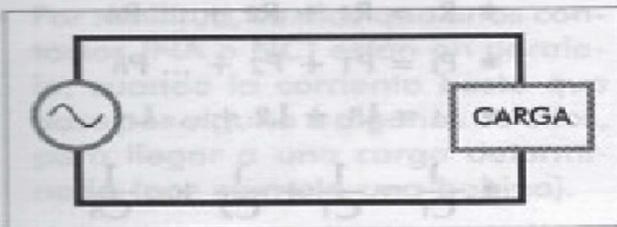
✓ Es el efecto combinado de resistencias y reactancias inductivas y/o capacitivas.

✓ Si se aplica la ley de ohm, en función de la impedancia, se tiene:

$$I = \frac{E}{Z}$$

CIRCUITOS ELÉCTRICOS

⚡ Circuito eléctrico es el recorrido completo que realiza la corriente, desde que sale de la fuente hasta que retorna a ella, pasando por una o más cargas, a través de unos conductores.

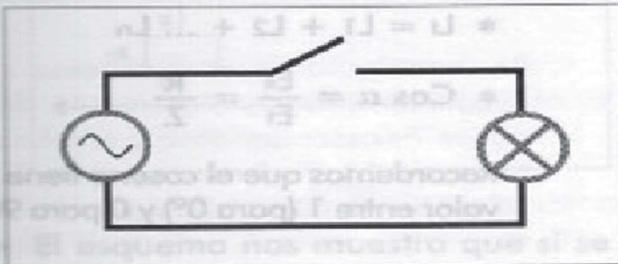


- ★ Circuito sin ninguna interrupción.
- ★ Se tiene energía y flujo de electrones.

En controles y automatismos, todo circuito en funcionamiento debe estar cerrado, por lo cual nuestro objetivo siempre será obtener este tipo de circuito.

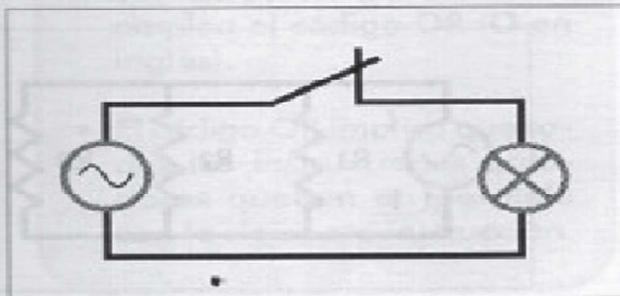
⇨ CIRCUITO ABIERTO:

- ★ Circuito que se encuentra interrumpido en algún punto del mismo.
- ★ Se tiene energía, pero no hay flujo de corriente eléctrica.



En controles y automatismos, todo circuito en reposo debe estar abierto, por lo menos en un punto, razón por la cual podemos decir que este tipo de circuitos es nuestro punto de partida.

⇨ CIRCUITO CERRADO:

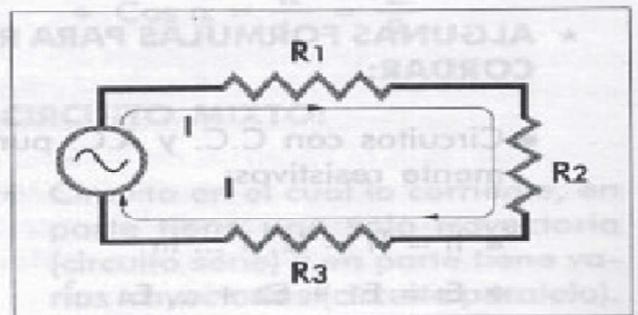


⇨ CIRCUITO SIMPLE:

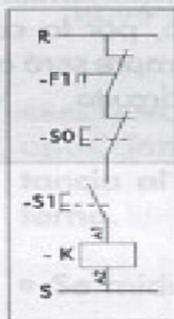
- ★ Circuito en el cual solamente tenemos una carga.
- ★ No se toma en cuenta el número de elementos que se tengan para controlar la carga.

⇨ CIRCUITO SERIE:

- ★ Circuito en el cual la corriente tiene una sola trayectoria o recorrido, a través de dos o más cargas.
- ★ El esquema nos muestra cómo la corriente I , para completar el circuito, debe pasar necesariamente por R_1 Y por R_2 Y por R_3 .



- ★ Por similitud, se dice que unos contactos (N.C. o N.A.) están en serie, cuando la corriente debe pasar necesariamente a través de cada uno de ellos, para llegar a una determinada carga (por ejemplo una bobina).



En el esquema podemos ver que, si queremos que la bobina K se energice, la corriente debe llegar hasta el punto A1, pasando necesariamente por el contacto de F1 Y el contacto de S0 Y el contacto de S1 (cuando éste se cierre).

En el esquema podemos ver que, si queremos que la bobina K se energice, la corriente debe llegar hasta el punto A1, pasando necesariamente por el contacto de F1 Y el contacto de S0 Y el contacto de S1 (cuando éste se cierre).



Al programar en un PLC:

- ★ Cuando se encuentran contactos en serie, se emplea el código AND (Y en inglés).
- ★ El código AND implica que todas las instrucciones anteriores quedan en serie con la siguiente instrucción.

★ ALGUNAS FORMULAS PARA RECORDAR:

- Circuitos con C.C. y A.C. puramente resistivos:
 - * $I_t = I_1 = I_2 = \dots I_n$
 - * $E_t = E_1 + E_2 + \dots E_n$

$$* R_t = R_1 + R_2 + \dots R_n$$

$$* P_t = P_1 + P_2 + \dots P_n$$

$$* L_t = L_1 + L_2 + \dots L_n$$

$$* \frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \frac{1}{C_n}$$

- Circuitos con A.C. no puramente resistivos:

$$* E_t^2 = E_R^2 + E_L^2$$

$$* E_t^2 = E_R^2 + E_C^2$$

$$* Z^2 = R^2 + X_L^2$$

$$* Z^2 = R^2 + X_C^2$$

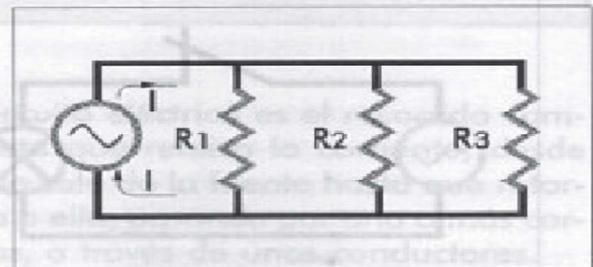
$$* L_t = L_1 + L_2 + \dots L_n$$

$$* \cos \alpha = \frac{E_R}{E_t} = \frac{R}{Z}$$

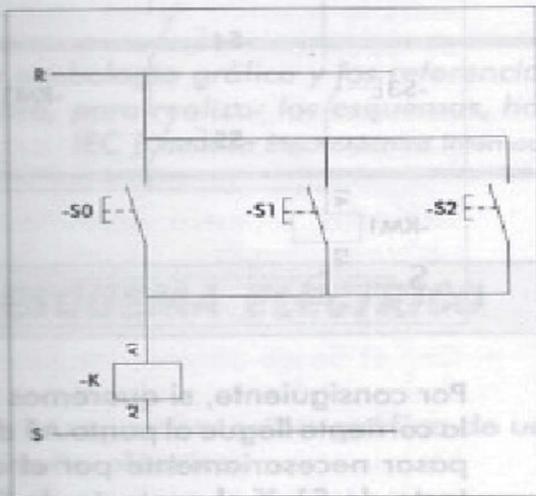
Recordemos que el coseno tiene un valor entre 1 (para 0°) y 0 para 90°.

★ CIRCUITO PARALELO:

- ★ Circuito en el cual la corriente tiene varias trayectorias o recorridos.
- ★ El esquema nos muestra cómo la corriente, para completar el circuito, es suficiente que pase por alguna o algunas de las resistencias que forman parte del circuito, y no necesariamente por todas las resistencias. La corriente I puede pasar por R1 ○ por R2 ○ por R3.



- * Por similitud, se dice que unos contactos (NA o NC) están en paralelo, cuando la corriente basta que pase por alguno o algunos de ellos, para llegar a una carga determinada (por ejemplo una bobina).



- * El esquema nos muestra que si se quiere energizar la bobina K, la corriente debe llegar hasta el punto A1, pasando por el contacto de S0 por el contacto de S1 por el contacto de S2, cuando alguno de ellos se cierre.



Al programar en un PLC:

- * Cuando se encuentran contactos en paralelo, se emplea el código OR (en inglés).
- * El código OR implica que todas las instrucciones anteriores quedan en paralelo con la siguiente instrucción.

* ALGUNAS FORMULAS PARA RECORDAR:

- Circuitos con C.C. y A.C. puramente resistivos:

$$* E_t = E_1 = E_2 = \dots E_n$$

$$* I_t = I_1 + I_2 + \dots I_n$$

$$* \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \frac{1}{R_n}$$

$$* R_t = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$* P_t = P_1 + P_2 + \dots P_n$$

$$* \frac{1}{L_t} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots \frac{1}{L_n}$$

$$* C_t = C_1 + C_2 + \dots C_n$$

- Circuitos con A.C. no puramente resistivos:

$$* I^2 = I_R^2 + I_L^2$$

$$* I^2 = I_R^2 + I_C^2$$

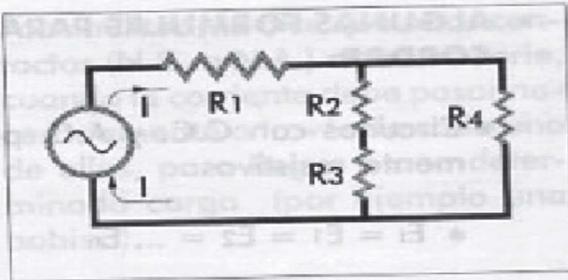
$$* Z = \frac{R X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$* Z = \frac{R X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$$* \cos \alpha = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}$$

* CIRCUITO MIXTO:

- * Circuito en el cual la corriente, en parte tiene una sola trayectoria (circuito serie) y en parte tiene varias trayectorias (circuito paralelo).

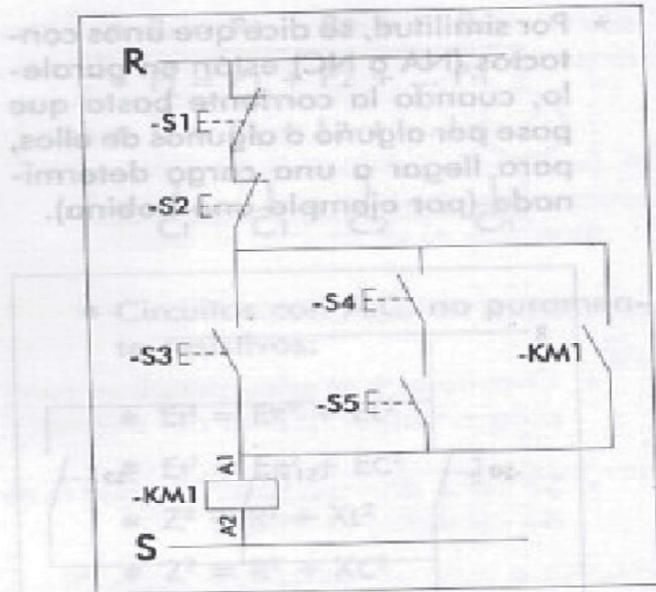


* Observando el gráfico vemos que R1 con relación a R2, R3 y R4 ó viceversa (R2, R3 y R4 con relación a R1) está en serie. R2 y R3 están entre sí en serie, pero ambas, con relación a R4 (o viceversa), están en paralelo. Por consiguiente, la corriente debe pasar necesariamente por R1 Y además, O por R2 Y R3 (por las dos, porque están en serie), O por R4 para que se complete el circuito.

* Las partes que están en serie, reciben un tratamiento igual al de los circuitos en serie, y las partes que están en paralelo, reciben un tratamiento igual al de los circuitos en paralelo.

* Por similitud con los circuitos mixtos, diremos que los diferentes contactos que se encuentran en el siguiente esquema conforman un circuito mixto, ya que algunos están en serie y otros están en paralelo.

En efecto, los contactos de S1 y S2 están en serie entre sí y con todo el bloque conformado por los contactos de S3, S4, S5 y KM1. Además podemos observar en este bloque, que el contacto de S3 está en paralelo con el contacto de KM1 y con otro bloque integrado por los contactos de S4 y S5, los cuales a su vez están en serie.



Por consiguiente, si queremos que la corriente llegue al punto A1 debe pasar necesariamente por el contacto de S1 Y el contacto de S2 Y además, O por el contacto de S3, O por los contactos de S4 Y S5, O por el contacto de KM1.



Al programar en un PLC:

- * Para los contactos que están exclusivamente en serie se emplea el código AND.
- * Para los contactos que están únicamente en paralelo, se emplea el código OR.
- * Para los contactos que están en serie y a su vez en paralelo, o viceversa, es necesario darles un tratamiento en bloques mediante el uso de memorias intermedias (IM o paréntesis).

La simbología gráfica y las referencias de identificación que se emplean en este libro, para realizar los esquemas, han sido tomadas de la norma internacional IEC (Comisión Electrotécnica Internacional) 1082-1 de diciembre de 1992.

ESQUEMA ELÉCTRICO

- ✓ Es la representación gráfica de un circuito eléctrico.
- ✓ Para la elaboración de un esquema eléctrico se emplean símbolos, trazos, marcas e índices.
 - **SIMBOLO:** representación de una máquina o parte de ella, de un aparato (de maniobra, mando o señalización) o parte de él, o de un instrumento de medición.
 - **TRAZO:** línea que representa un conductor o la unión mecánica de varios aparatos o elementos.
 - **MARCA:** letra o letras que se usan para identificar aparatos, símbolos o trazos.
 - **INDICE:** número que se usa con la marca para la plena identificación de un aparato, símbolo o trazo. Además se emplea para identificar todo punto o borne de conexión de un aparato o contacto (entrada y salida).

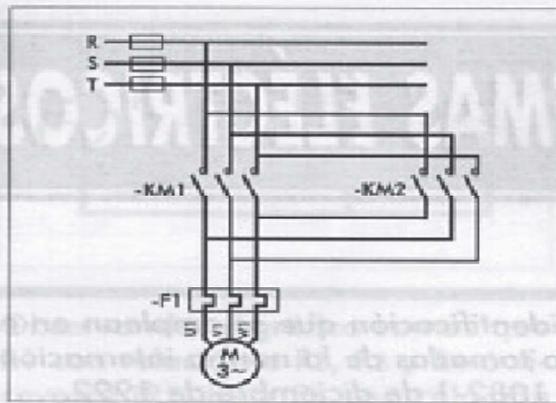
- ✓ Un esquema elaborado correctamente debe estar hecho de tal manera que pueda ser interpretado debidamente por cualquier técnico.
- ✓ Los esquemas siempre se diseñan en estado de reposo, es decir que las bobinas deben estar desenergizadas y los aparatos de mando sin accionar.

CLASES DE ESQUEMAS

A continuación veremos únicamente los esquemas que más se usan para el diseño de los esquemas de potencia y control.

☛ MULTIFILAR:

- ★ Esquema en el cual se representan todos los elementos, con sus correspondientes símbolos, y todos los conductores o conexiones entre los bornes de los mismos, mediante trazos o líneas independientes.
- ★ Actualmente sólo se emplea para los circuitos de potencia o fuerza (= conexión de la red a la carga).

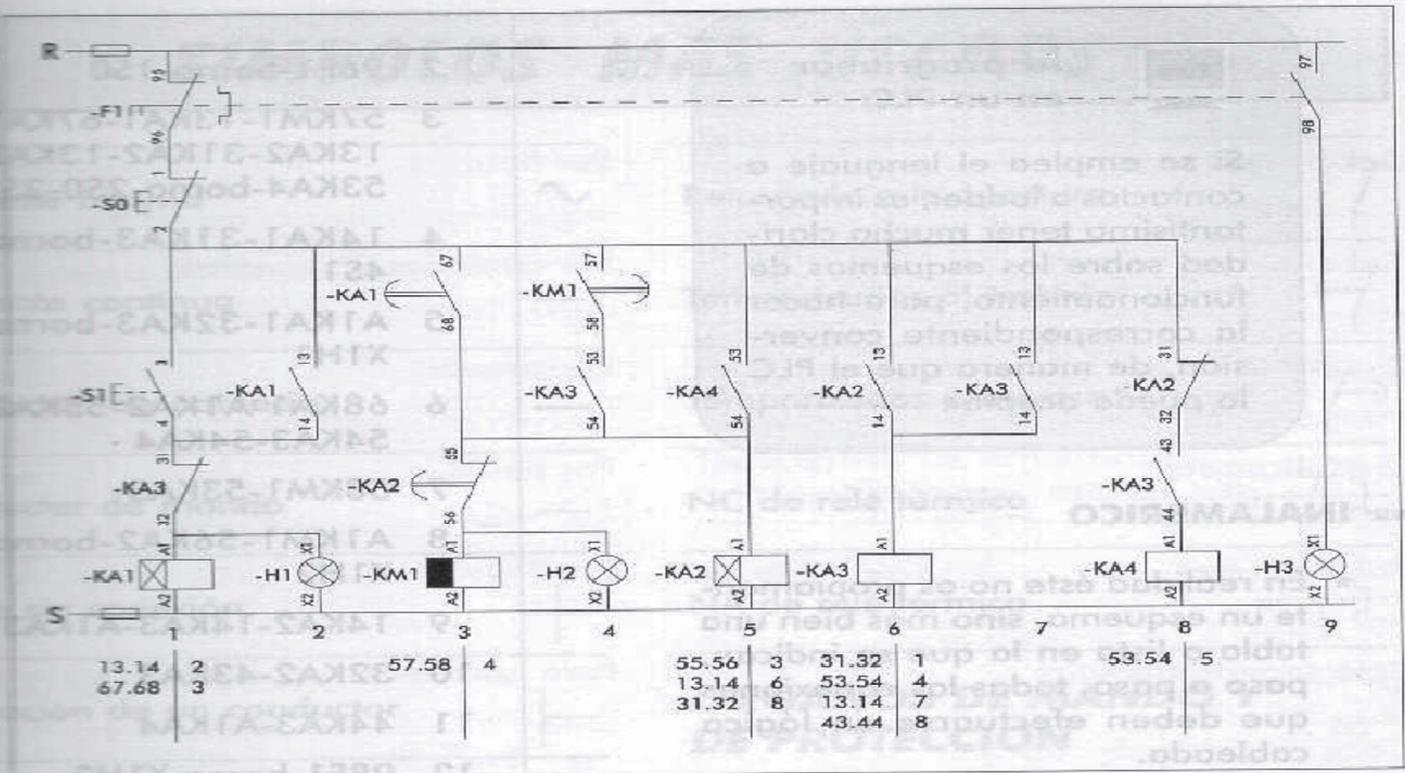


ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO:

- * Esquema que indica la forma cómo se conectan y controlan las bobinas de los contactores y los demás elementos de control y de señalización.
- * En la actualidad se usa específicamente para los circuitos de mando o control, en lógica cableada.
- * En estos esquemas se prescinde totalmente de la ubicación física de los distintos elementos de control, así como de la naturaleza de los mismos, considerando únicamente la función que van a realizar en su totalidad o en sus partes.
- * Presenta una notable simplificación en su ejecución gráfica.
- * El esquema está compuesto por dos líneas horizontales separadas, que representan las líneas de alimentación del circuito, y una serie de líneas verticales, entre las horizontales, que corresponden a los circuitos parciales, en los cuales se ubican los símbolos de los diferen-

tes elementos del circuito de control, de acuerdo con la función que van a realizar.

- * Los conductores representados por líneas verticales se trazan desde una de las líneas de alimentación a la entrada o salida de un símbolo, o de un símbolo a otro.
- * La interconexión de los circuitos parciales se realiza mediante líneas horizontales que unen dos trazos verticales. En estos trazos no debe ubicarse elemento alguno del circuito de control.
- * Con el fin de obtener mayor claridad en el diseño gráfico del esquema, éste debe hacerse, en lo posible, sin cruce de líneas, para facilitar la lectura, el análisis y la interpretación del plano.
- * Un conductor nunca se representa con una línea oblicua.
- * Un trazo (horizontal, vertical, oblicuo o quebrado) representa una unión mecánica si es una línea punteada. Va de la mitad de un símbolo a la mitad de otro símbolo. Pueden cruzarse entre sí o con trazos que representan conductores.
- * Los esquemas de control se diseñan en estado de reposo y, siempre que sea posible, en una sucesión lógica de maniobra.
- * Todos los elementos del esquema deben estar claramente identificados, así como sus respectivas entradas y salidas.
- * Si se encuentran varios símbolos con la misma marca, significa que



pertenecen a un mismo aparato.

- * En un mismo esquema podemos colocar varios símbolos con las mismas marcas, pero nunca debemos colocar dos o más símbolos que tengan las mismas marcas y además los mismos índices.
- * Por razones de seguridad, se recomienda que la línea de alimentación inferior del circuito de mando, se una exclusivamente a la salida de los elementos que constituyen cargas (borne A2 de bobinas, pilotos, temporizadores, etc.).
- * Todos los elementos de control y/o contactos se deben ubicar entre la línea de alimentación superior y la entrada de los elementos que constituyen carga, señalados an-

teriormente (bobinas y pilotos).

- * Debajo de los símbolos de bobinas y de la línea de alimentación se consignan, en dos columnas, todos los contactos, instantáneos y temporizados, pertenecientes al contactor cuya bobina está representada en la parte superior, indicando el número del circuito en el cual se encuentra, y si es necesario también la página. Esta información ayudará a localizar rápidamente un determinado contacto y a adquirir el contactor y/o los bloques de contactos más apropiados.
- * Los esquemas de potencia y mando son complementarios, por lo cual todo esquema de potencia debe tener necesariamente su correspondiente esquema de mando o control y viceversa.



Al programar en un PLC:

Si se emplea el lenguaje a contactos o ladder, es importantísimo tener mucha claridad sobre los esquemas de funcionamiento, para hacer la correspondiente conversión, de manera que el PLC lo pueda aceptar.

INALÁMBRICO

★ En realidad éste no es propiamente un esquema, sino más bien una tabla o lista en la que se indican, paso a paso, todas las conexiones que deben efectuarse en lógica cableada.

★ Para la elaboración de la lista es necesario tener previamente el esquema de funcionamiento y haberlo analizado e interpretado correctamente.

★ Esta lista es de gran ayuda para el personal que no tiene mayores conocimientos de electricidad, o para aquellas personas que no tienen una adecuada formación en la lectura e interpretación de planos eléctricos de control (específicamente ayudantes de tableristas).

Esquema inalámbrico correspondiente al esquema de la página 23

Cir.Nº Conexiones a realizar

1 R-borna-97F1-95F1

- 2 96F1-borna-1S0
- 3 57KM1-13KA1-67KA1-13KA2-31KA2-13KA3-53KA4-borna-2S0-3S1
- 4 14KA1-31KA3-borna-4S1
- 5 A1KA1-32KA3-bornax1H1
- 6 68KA1-A1KA2-55KA2-54KA3-54KA4
- 7 58KM1-53KA3
- 8 A1KM1-56KA2-bornax1H2
- 9 14KA2-14KA3-A1KA3
- 10 32KA2-43KA3
- 11 44KA3-A1KA4
- 12 98F1-bornax1H3
- 13 S-bornaxA2KM1-A2KA1-A2KA2-A2KA3-A2KA4-bornaxX2H1-X2H2-X2H3



Al programar en un PLC:

Recordemos este tipo de esquema, ya que más adelante veremos la gran similitud que tiene con el lenguaje por lista de instrucciones.

A continuación presentamos los símbolos más comunes y que más usaremos en el presente libro.

SIMBOLOS MAS USADOS

Corriente alterna



Corriente continua



Conductor de potencia



Conductor de mando



Cruce sin conexión



Derivación de un conductor



Doble derivación



CONTACTOS

Instantáneo NA (NO)



Instantáneo NC



Principal



Adelantado al cierre



Adelantado a la apertura



Retardado al cierre



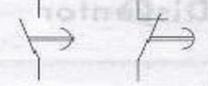
Retardado a la apertura



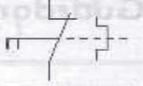
Temporizados al trabajo



Temporizados al reposo



NC de relé térmico



NA de relé térmico



ORGANOS DE MANDO Y DE PROTECCION

Bobina de contactor



Temporizador neumático al trabajo



Temporizador neumático al reposo



Temporizador electrónico



Detector inductivo



Detector capacitivo

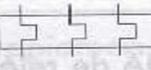
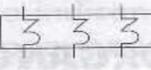


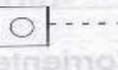
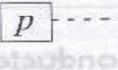
Detector fotoeléctrico



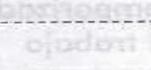
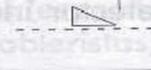
Electroválvula



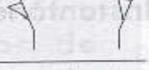
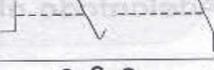
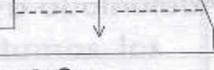
Fusible	
Seccionador	
Seccionador con fusible	
Disyuntor	
Guardamotor	
Relé térmico	
Relé termomagnético	

Selector rotativo	
Por flotador	
Por contador de eventos	
Por presión	
Por pedal	
Por llave	
Para paro de emergencia	

MANDOS MECÁNICOS

Unión mecánica	
Enclavamiento mecánico	
Enganche mecánico retenido	
Enganche mecánico liberado	
Retorno automático	
Retorno no automático	
Botón pulsador	

ALGUNOS APARATOS DE MANDO

Pulsador NA	
Pulsador NC	
Interruptor de posición	
Pulsador conexión-desconexión	
Selector rotativo de 2 posiciones	
Selector rotativo de 3 posiciones	
Selector rotativo de 4 posiciones con retorno no automático	

ELEMENTOS DE SEÑALIZACION

Piloto luminoso



Piloto luminoso e intermitente



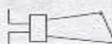
Sirena



Timbre



Bocina



MARCAS

Fases

R, S, T ó
L1, L2, L3

Neutro

N

Contactor principal

-KM:...

Contactor auxiliar

-KA...

Aparatos de conexión mecánica para circuitos de mando (Pulsadores, selectores, interruptores de posición)

-S...

Elementos de protección (fusible, relé térmico, etc.)

-F...

Aparatos de conexión mecánica para circuitos de potencia (disyuntor, seccionador)

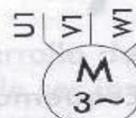
-Q...

Dispositivos de señalización (pilotos luminosos, sirenas, etc.)

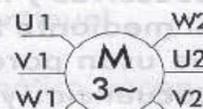
-H...

MOTORES

Trifásico



Estrella - triángulo



ALGUNOS ESQUEMAS Y SIMBOLOS USADOS PARA PROGRAMAR EN UN PLC

Lenguajes de programación: Según norma IEC 1131-3 (1993)

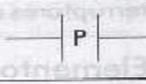


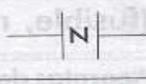
PARA ES-
QUEMAS A
CONTACTOS
o LADDER



Contacto NA 

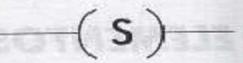
Contacto NC 

Contacto con flanco ascendente 

Contacto con flanco descendente 

Bobina 

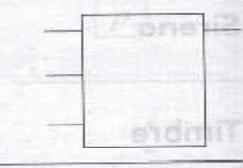
Bobina negada 

Bobina activada (set) 

Bobina desactivada (reset) 

Fin de programa 

Enlace por acumulador 

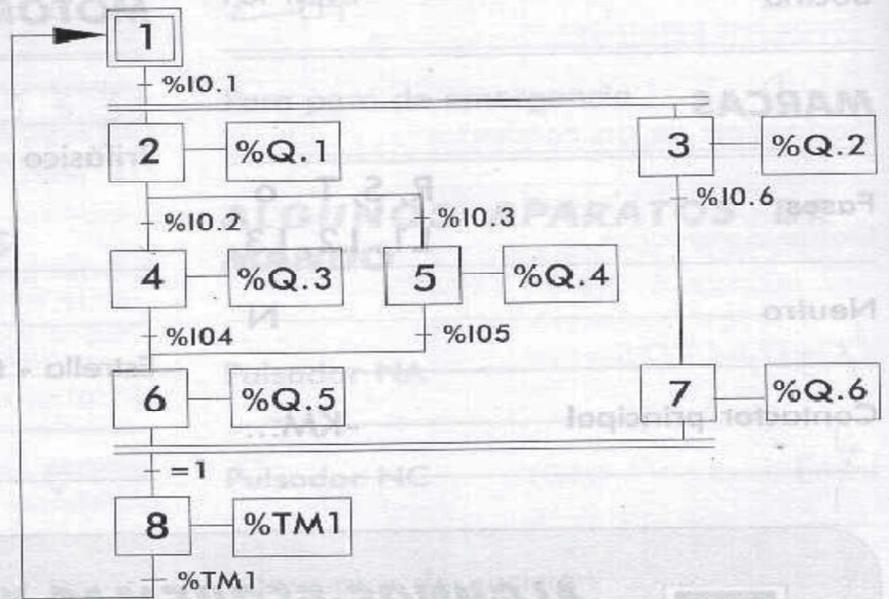
Bloque de función:
Temporizador
Contador
Paso a paso
Programador cíclico 



PARA ESQUEMAS GRAFCET

Esquema que descompone un proceso secuencial en una serie de etapas sucesivas y ligadas entre sí mediante transiciones. Se usan para programar secuencias y/o procesos.

Se tienen secuencias lineales, con direccionamiento condicional y secuencias simultáneas.



Algunos símbolos más usados:

Etapas

Etapas

Acción asociada a una etapa

Transición 

Salto de etapa 

Retroceso de etapa 

Secuencias simultáneas 

Secuencia con direccionamiento condicional o derivación 