

CENTRO DE FORMACIÓN PROFESIONAL ESPECÍFICA NUESTRA SEÑORA DE LAS  
MERCEDES

# Capítulo 4

# Introducción a la automatización.

---

Automatismos Industriales

**Jonathan Medina García**

## 4.1. Automatización aéreas de aplicación y componentes.

**La automatización es la acción por la que se transfieren o traspasan actividades realizadas por un operario, dentro del proceso productivo, a una máquina, que está gobernada por un equipo que puede ser cableado o electrónico programable.**

La automatización pretende conseguir diversos objetivos:

- Eliminar las tareas que para el ser humano pueden resultar peligrosas, indeseables o repetitivas, haciendo que sean las máquinas que las realicen.
- Aumentar la producción de las instalaciones.
- Liberar al hombre de manipulación de grandes pesos.
- Obtener una mejora del rendimiento y de la calidad.
- Mejorar los procesos de fabricación para producir con la misma calidad y reducir el consumo de materia prima.
- Habituar a un sistema de fabricación para producir con la misma calidad y reducir el consumo de materia prima.
- Habituar a un sistema en el que la productividad no siempre es la misma, sino que puede variar, y posibilitar el cambio en la fabricación de un proceso a otro.
- Reducir los tiempos de parada entre operaciones dentro del proceso.
- Mejorar al máximo los sistemas de seguridad, no solo en el ámbito de la persona sino también en el de la propia máquina.

### a. Campos de aplicación.

En sus comienzos, la automatización se limitó, durante bastante tiempo, exclusivamente al uso de la tecnología cableada. En un principio abarcaba solo el campo de la electricidad, en el que fueron introduciéndose, poco a poco, elementos electrónicos que iban apareciendo en el mercado. Posteriormente se extendió al campo de la neumática y al de los fluidos.

Generalmente, **el automatismo cableado** ha presentado algunos inconvenientes derivados de su propia constitución física, como son:

- Ocupa mucho espacio y necesita grandes armarios y recintos para su ubicación.
- Es poco flexible, pues sólo puede utilizarse para la función para la que se creó.
- Presenta cierto grado de dificultad para un buen mantenimiento del equipo.

Posteriormente apareció la automatización de tecnología programada, usando miniordenadores, microordenadores y, por último, el autómeta programable.

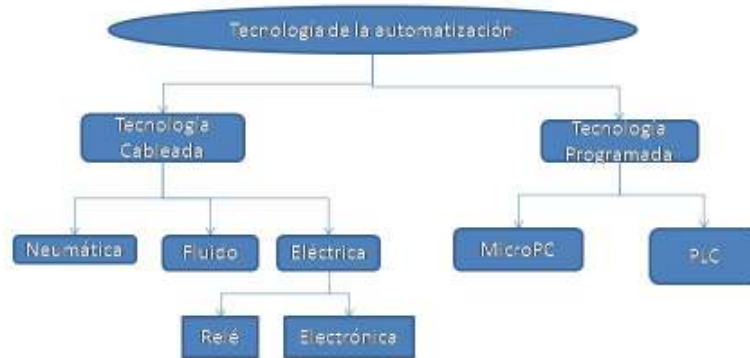


Fig. 1. Desarrollo de procesos automatizados.

## b. Componentes.

En todo sistema automatizado se distinguen dos zonas: la máquina o instalación y la parte de mando, constituida por el aparellaje del automatismo. La parte de mando es la encargada de controlar los distintos componentes de los automatismos y responde a cuatro funciones básicas; la adquisición de datos, el tratamiento de los mismos, el mando de potencia y el diálogo hombre-máquina.

**La adquisición de datos consiste en adaptar las circunstancias exteriores, ya son aspectos físicos, eléctricos o ambientales, que proporcionan información sobre el estado de un producto, una máquina o una instalación.**

El correcto funcionamiento de un automatismo puede estar condicionado por múltiples circunstancias como son la posición de un nivel, la temperatura...etc. La entrada de datos se realiza mediante captadores o detectores que informan a la unidad de tratamiento del estado del sistema. A estos datos se les conoce como variables de entrada.

La elección de los aparatos se hace en función de las condiciones de utilización. Pueden ser interruptores de posición accionados mecánicamente, interruptores de flotador para controlar un nivel, selectores de posición para seguir el desplazamiento de un móvil, etc.



Fig. 2. Automatización de una industria

**El tratamiento de datos es el proceso mediante el cual se analiza la información y se organiza para una posterior utilización. En los automatismos, la información proporcionan los captadores y la unidad de mando del automatismo la analiza para, siguiendo un programa establecido, adoptar las decisiones de actuación adecuadas.**

El tratamiento de datos se basa en dos técnicas:

- **Lógica cableada.**
- **Lógica programada.**

Los equipos para el tratamiento de datos por el sistema de lógica cableada están constituidos por aparatos electromagnéticos. El tratamiento de datos se realiza mediante los contactores y relés auxiliares que pueden cumplir al mismo tiempo otras funciones como selección de circuitos, registrar órdenes etc.

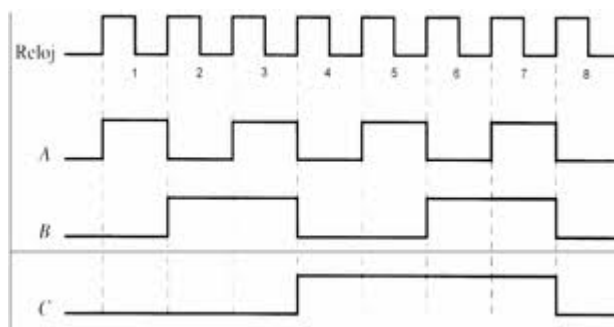


Fig. 3. Captación de información

La lógica programable se basa principalmente en los autómatas programables.

Los relés de automatismos y los contactores auxiliares están asociados a estos autómatas. Según sea la naturaleza del automatismo, **el ciclo de funcionamiento puede ser combinatorio o secuencial.**

**Ciclo combinatorio.** El funcionamiento se realiza únicamente por la combinación de los valores obtenidos por elementos captadores o primarios. Las órdenes de mando de las

salidas se adaptan dependiendo de las informaciones que se tienen en ese instante. No existe memoria de programa.

**Ciclo secuencial.** El ciclo actúa teniendo en cuenta las variables primarias y secundarias. Las órdenes de mando a las salidas no sólo dependen de las informaciones presentes e un instante, sino también de acciones pasadas. En él intervienen, además de los elementos de entrada, las secuencias en la sucesión de operaciones, si las hay, o los tiempos que tengan que transcurrir. Por ello, en este ciclo se necesita, obligatoriamente, la utilización de elementos de memoria.

**El diálogo entre el hombre y la máquina** se establece por medio de los elementos auxiliares de la instalación, lo que permite tomar decisiones que hacen variar el funcionamiento de esta.

El diálogo es complemento que permite al operador intervenir en el momento del arranque o en el transcurso del ciclo. Puede proceder a una parada de emergencia y reiniciar el arranque de la misma, controlando permanentemente el desarrollo de las operaciones por medio de sistemas de señalización.

Esta función está asegurada por todos los elementos auxiliares de mando de intervención manual y por los pilotos de señalización. En el caso de instalaciones más complejas el diálogo se realiza mediante los pupitres de mando, teclados, etc.

#### 4.2. Mando de potencia. El contactor.

**El mando de potencia es un conjunto de elementos que permiten que los receptores que forman la instalación de un automatismo no estén conectados permanentemente a la energía eléctrica suministrada por la red. Es decir, son sistemas que permiten el transporte, conexión y desconexión entre la red de alimentación y los propios receptores.**

El conjunto que componen el mando de potencia son los interruptores, los disyuntores y los conatores.

##### a. El contactor

Es un mecanismo cuya misión es la de cerrar unos contactos, para permitir el paso de la corriente a través de ellos. Esto ocurre cuando la bobina del contactor recibe corriente eléctrica, comportándose como electroimán y atrayendo dichos contactos.



Fig. 4. Aspecto físico de un contactor

b. Partes de que está compuesto:

- Contactos principales: 1-2, 3-4, 5-6.

Tienen por finalidad abrir o cerrar el circuito de fuerza o potencia.

- Contactos auxiliares: 13-14 (NO)

Se emplean en el circuito de mando o maniobras. Por este motivo soportarán menos intensidad que los principales. El contactor de la figura solo tiene uno que es normalmente abierto.

- Circuito electromagnético: Consta de tres partes.-

- El núcleo, en forma de E. Parte fija.
- La bobina: A1-A2.
- La armadura. Parte móvil.

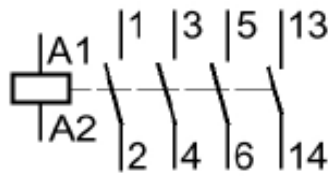


Fig. 5. Símbolo de un contactor.

c. Elección del Contactor:

Cuando se va a elegir un Contactor hay que tener en cuenta, entre otros factores, lo siguiente:

- Tensión de alimentación de la bobina: Esta puede ser continua o alterna, siendo esta última la más habitual, y con tensiones de 12 V, 24 V o 220 V.
- Número de veces que el circuito electromagnético va a abrir y cerrar. Podemos necesitar un Contactor que cierre una o dos veces al día, o quizás otro que esté continuamente abriendo y cerrando sus contactos. Hay que tener en cuenta el arco eléctrico que se produce cada vez que esto ocurre y el consiguiente deterioro.
- Corriente que consume el motor de forma permanente (corriente de servicio).

Por lo tanto es conveniente el uso de catálogos de fabricantes en los que se indican las distintas características de los Contactores en función del modelo.

d. Contactos auxiliares:

Para poder disponer de más contactos auxiliares y según el modelo de contactor, se le puede acoplar a este una cámara de contactos auxiliares o módulos independientes, normalmente abiertos (NO), o normalmente cerrados (NC).



Fig. 6. Contactos auxiliares de un contactor



Fig. 7. Contactor con contactos auxiliares

#### e. Marcado de bornes:

i. Bobina: se marca con A1 y A2.

ii. Contactos auxiliares: Como ya hemos nombrado, existen contactos normalmente abiertos (NO) o (NA) y normalmente cerrados (NC).

- Contactos NO.- Se les asignarán números de 2 cifras, la primera cifra indica el número de orden y la segunda deberá ser 3 y 4. Ejemplos: 13-14, 23-24, 33-34.
- Contactos NC.- Se les asignarán números de 2 cifras, la primera cifra indica el número de orden y la segunda deberá ser 1 y 2. Ejemplos: 11-12, 21-22, 31-32.
- Contactos principales: Se marcan con los siguientes números o letras: 1-2, 3-4, 5-6, o L1-T1, L2-T2, L3-T3.

iii. Relé Térmico: Los bornes principales se marcarán como los contactos principales del contactor, 1-2, 3-4, 5-6, o L1-T1, L2-T2, L3-

T3. Los contactos auxiliares serán, 95-96 contacto cerrado y 97-98 contacto abierto.

#### 4.3. El relé térmico.

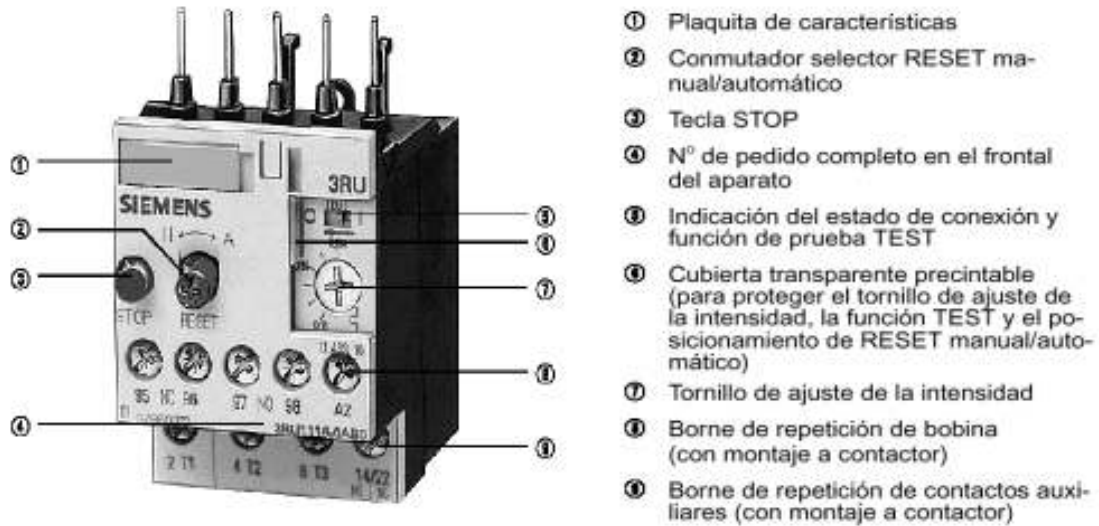


Fig. 8. Aspecto físico y parte constructiva.

Es un mecanismo que sirve como elemento de protección del motor. Su misión consiste en desconectar el circuito cuando la intensidad consumida por el motor, supera durante un tiempo corto, a la permitida por este, evitando que el bobinado se queme. Esto ocurre gracias a que consta de tres láminas bimetalicas con sus correspondientes bobinas calefactoras que cuando son recorridas por una determinada intensidad, provocan el calentamiento del bimetálico y la apertura del relé. La velocidad de corte no es tan rápida como en el interruptor magnetotérmico. Se debe regular (tornillo 7), a la Intensidad Nominal del motor ( $I_n$ ), para el arranque directo.

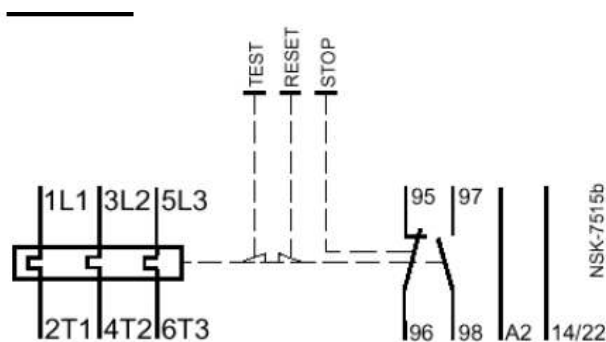


Fig. 9. Símbolo del relé térmico. Nosotros no usamos la parte de test, reset y stop

Esta intensidad deberá venir indicada en la placa de características del motor.

##### a. Elección del Relé Térmico.



Para la elección de este mecanismo hay que tener en cuenta el tiempo máximo que puede soportar una sobreintensidad no admisible, y asegurarnos de que la intensidad del receptor esté comprendida dentro del margen de regulación de la intensidad del relé.

#### 4.4. El interruptor magnetotérmico

Su misión es la de proteger a la instalación Y al motor, abriendo el circuito en los

Siguientes casos:

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

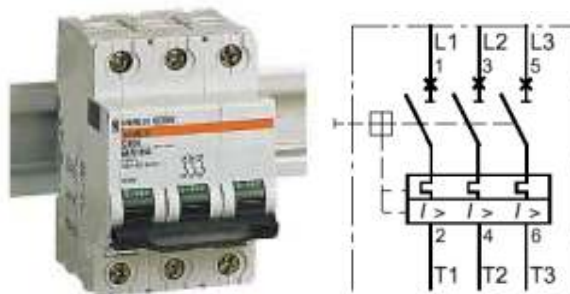


Fig. 10. Aspecto físico y símbolo del mismo

##### a. Elección del interruptor automático magnetotérmico:

Se deberán seguir los siguientes pasos:

- i. Hay que seleccionar el tipo de curva de disparo. Ver tabla adjunta.
- ii. Elegir el calibre o intensidad nominal, cuyo valor será inferior o igual a la que consume el receptor de forma permanente.

<i>Curva de disparo</i>	<i>Corriente de magnético</i>	<i>Calibre</i>	<i>Aplicaciones</i>
B	5	2	Protección generadores, de personas y grandes longitudes de cable.
		3	
		4	
C	10	6	Protección general.
		10	Protecciones de receptores con elevadas corrientes de arranque.
D	20	16	Protección de circuitos electrónicos.
Z	3,6	20	
		25	

Tabla I. Selección de un Magnetotérmico

#### 4.5. Elementos de acondicionamiento de señal.

##### a. Pulsadores.

Los pulsadores son elementos de accionamiento que sirven para cerrar o abrir un circuito permitiendo el paso o no de la corriente a través de ellos. Existen tres tipos:

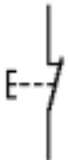
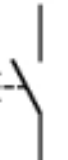
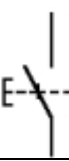
Nombre	Símbolo
Pulsador de Paro	
Pulsador de Marcha	
Pulsador de doble cámara	



Fig. 11. Aspecto físico de un pulsador

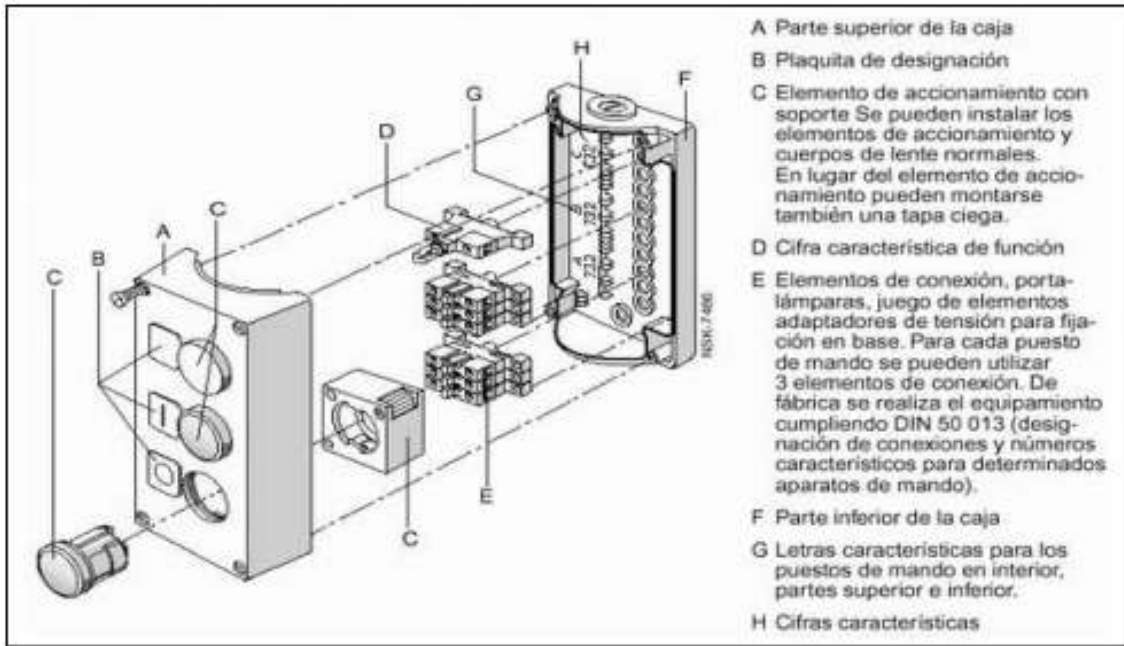


Fig. 12. Despiece de una caja de pulsadores

b. Interruptores de posición. Finales de Carrera

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



Fig. 13. Aspecto físico

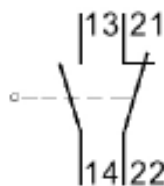


Fig. 14. Símbolo

Como se puede observar, el final de carrera está compuesto por un contacto normalmente cerrado y otro normalmente abierto. Cuando se presiona sobre el vástago, cambian los contactos de posición, cerrándose el abierto y viceversa.

#### 4.6. Detectores

##### a. Presostatos

El presostato es un mecanismo que abre o cierra unos contactos que posee, en función de la presión que detecta. Esta presión puede ser provocada por aire, aceite o agua, dependiendo del tipo de presostato. Se suelen usar en grupos de presión de agua, poniendo en marcha un motor-bomba cuando la presión de la red no es suficiente.



Fig. 15. Aspectos físicos



Fig. 16. Símbolo

Los contactos pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados, dependiendo del tipo de presostato

##### b. Inductivos.



Fig. 17. Aspectos físicos.

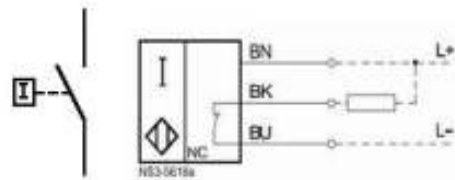


Fig. 18. Símbolo.

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

#### **Funcionamiento:**

El DI es excitado por un campo alterno de alta frecuencia, el cual se origina en la "superficie activa" del DI, la magnitud de este campo alterno determina el "alcance" del aparato. Cuando se aproxima un material buen conductor eléctrico o magnético, el campo se amortigua. Ambos estados (campo amortiguado o no amortiguado) son valorados por el DI y conducen a un cambio de la señal en la salida.

#### c. Capacitivos

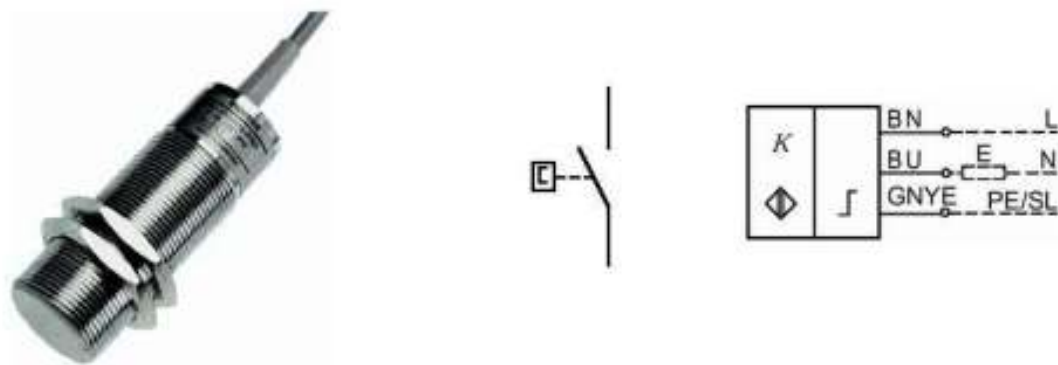


Fig. 19. Aspecto físico y símbolo del detector.

Estos detectores de proximidad capacitivos son interruptores de límite, que trabajan sin roces ni contactos. Pueden detectar materiales de conducción o no conducción eléctrica, que se encuentran en estado sólido, líquido o pulverento, entre otros: vidrio, cerámica, plástico, madera, aceite, agua, cartón y papel. El DETECTOR se conecta cuando él y el material se encuentran uno enfrente del otro a una determinada distancia.

#### Aplicaciones:

- i. Señalización del nivel de llenado en recipientes de material plástico o vidrio
- ii. Control del nivel de llenado con embalajes transparentes
- iii. Aviso de roturas de hilo en bobinas
- iv. Aviso de rotura de cinta transportadora
- v. Cuenta de botellas
- vi. Regulación del bobinado y de los esfuerzos de tracción de cintas
- vii. Cuenta de todo tipo de objetos

La superficie activa de un sensor está formada por dos electrodos metálicos dispuestos concéntricamente, éstos se pueden considerar como los electrodos de un condensador. Al acercarse un objeto a la superficie activa del sensor, se origina un campo eléctrico delante de la superficie del electrodo. Esto se traduce con una elevación de la capacidad y el oscilador comienza a oscilar.

#### d. Fotoeléctricos



Fig. 20. Aspecto físico



Fig. 21. Los fotodetectores más usados.

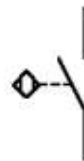


Fig. 22. Símbolo

Los DF reaccionan a cambios de la cantidad de luz recibida. El objeto a detectar interrumpe o refleja el haz luminoso emitido por el diodo emisor. Según el tipo de aparato, se evalúa o bien la reflexión del haz luminoso o la interrupción del mismo.

La luz del emisor da en un objeto. Ésta se refleja de forma difusa y una parte de la luz alcanza la parte receptora del aparato. Si la intensidad de luz es suficiente, se conecta la salida. La distancia de reflexión depende del tamaño y del color del objeto así como del acabado de la superficie. La distancia de reflexión se puede modificar entre amplios límites mediante un potenciómetro incorporado.

### **Barreras fotoeléctricas por reflexión**

El haz de luz impulsado por el diodo emisor es captado por una lente y enviado, a través de un filtro de polarización, a un reflector (principio del espejo triple). Una parte de la luz reflejada alcanza otro filtro de polarización del reflector. Los filtros se eligen y disponen de forma que solamente el haz luminoso enviado por el reflector alcance el receptor, y no los haces de luz de otros objetos que se encuentran dentro del campo de irradiación. Un objeto que interrumpa el haz de luz enviado por el emisor a través del reflector hacia el receptor origina una conexión de la salida.

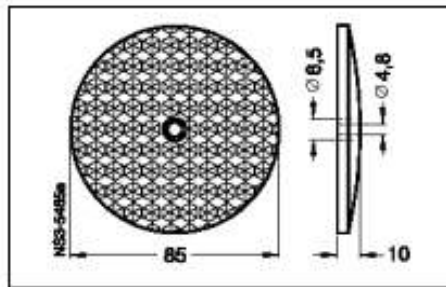


Fig. 23. Receptor utilizado con la fotocélula.

#### 4.7. Máquinas eléctricas.

El motor eléctrico es, sin duda, la máquina eléctrica más representativa por su enorme variedad de formas y tamaños. Aunque vamos a tratarlos desde el punto de vista industrial, están muy presentes en la vida cotidiana, puesto que su utilización nos proporciona gran bienestar social. Todos los motores eléctricos poseen el mismo principio de funcionamiento.

**Las máquinas eléctricas son un conjunto de mecanismos que, basándose en las leyes de la inducción, realizan transformaciones del tipo electromagnético.**

Las máquinas eléctricas se dividen en cuatro grandes grupos:

- **Generadores.** Transforman la energía mecánica que reciben por su eje en energía eléctrica que suministran por sus bornes, generando así una tensión eléctrica. Los generadores pertenecen al tipo de máquinas dinámicas y rotativas.
- **Motores.** Convierten la energía eléctrica que reciben por sus bornes en energía mecánica que transmiten por su eje. Realizan la función inversa a los generadores.
- **Convertidores, que pueden ser onduladores o rectificadores.** Los primeros convierten la CC en CA y los otros la CA en CC. Pertenecen, por lo general, al grupo de las máquinas estáticas, es decir, carecen de elementos o partes de movimiento.
- **Transformadores.** Son máquinas estáticas que mantienen la forma de energía que se les suministra, aunque modifican sus características.

##### a. Constitución de las máquinas eléctricas.

Las máquinas eléctricas están formadas por un circuito magnético y dos eléctricos. El circuito magnético de las máquinas de CC es de los denominados de polos salientes. Los polos están fabricados con chapas finas de hierro dulce, apilados para formar el polo, aunque también pueden estar contruidos con bloques de hierro dulce.

Los polos van colocados en la parte fija de la máquina, lo que se conoce como carcasa. En los polos distinguimos dos partes, núcleo y expansión o zapata polar:

- El núcleo es la parte del polo que lleva arrollado el bobinado inductor y abarca desde la carcasa hasta la zapata.



- La zapata consiste en un ensanchamiento del polo en forma de arco, en la parte más cercana al rotor.

Las máquinas pueden tener también otros polos más pequeños, llamados auxiliares o de conmutación, que van situados en la línea neutra de los polos principales.

Los circuitos eléctricos se conocen con los nombres de inductor e inducido.

**El circuito inductor es el circuito eléctrico que va arrollado a los núcleos de los polos de la máquina.**

También es conocido con el nombre de circuito de excitación, ya que cuando le atraviesa una corriente eléctrica genera el flujo que aplicado al conjunto del circuito magnético de la máquina, formando dos polos (N-S).

**El circuito inducido está constituido por el conjunto de bobinas que van colocadas en las ranuras del rotor. Como consecuencia de la corriente de excitación se crea en este otra corriente que se conoce como inducida.**

En toda máquina eléctrica debemos distinguir:

- **Estator.** Es parte fija o estática de la máquina. Está formado por una carcasa en la que se fija una corona con ranuras de chapas de acero aislantes entre sí.
- **Rotor.** Es la parte móvil o giratoria de la máquina. Se sitúa en el interior del estator y está compuesto por un grupo de chapas de acero apiladas que forman un cilindro solidario con el eje del rotor. En la periferia lleva una serie de ranuras para colocar los conductores conectados por medio de una corona metálica.

## b. Características de las máquinas eléctricas.

En toda máquina eléctrica hay que tener en cuenta las siguientes características:

- **Tensión nominal.** La tensión para la que ha sido construida la máquina.
- **Tensión de servicio.** En una línea, la tensión de servicio, considerada en términos medios, es la que puede haber en condiciones normales en los bornes de los receptores eléctricos. Esto significa que en un momento determinado esa tensión puede sufrir una pequeña alteración en cualquier sentido.
- **Tensión normal de servicio.** Es la tensión normalizada establecida en el país de instalación. En España se ha regulado unas tensiones de servicio para máquinas eléctricas.
- **Velocidad nominal.** Es la velocidad para la cual está construida la máquina. Se mide en revoluciones por minuto (rpm).
- **Intensidad nominal.** Es la intensidad de corriente que absorbe la máquina cuando está sometida a la tensión nominal y desarrolla su velocidad nominal.
- **Potencia nominal.** Es la potencia mecánica que un motor puede suministrar por su eje y siempre es menor que la que el motor absorbe de la red.
- **Potencia absorbida.** Como su propio nombre indica, es la potencia que el motor absorbe de la red de alimentación.
- **Potencia perdida.** Se la conoce por ese nombre, pero tal y como establece el principio de la conservación de la energía, "la energía ni se crea ni se destruye, sólo se transforma", por tanto, no es que se pierda, sino que se convierte en calor por rozamientos de rodamientos, circuito magnético etc.

- **Potencia útil.** Es la potencia real que el motor suministra por su eje. Teóricamente debería coincidir con la potencia absorbida, pero esto no es así, debido a que se ve disminuida por las pérdidas ocasionadas por el propio funcionamiento del motor. En todo caso, se cumple que:

$$potenciaabsorbida = potenciaútil + potenciaperdida$$

- **Rendimiento.** Es la eficacia mecánica de la máquina, en función de la potencia suministrada. Es decir, si la potencia mecánica que suministra un motor por su eje es similar a la potencia que absorbe de la red, el rendimiento es alto. Por el contrario si la potencia mecánica resultante es muy inferior a la absorbida, el rendimiento es bajo. Se calcula mediante la fórmula:

$$\eta = \frac{potenciaútil}{potenciaabsorbida}$$

Se puede observar que el numerador es menor que el denominador, por lo que el rendimiento jamás puede ser mayor que la unidad. En todo caso, el rendimiento puede ser igual a la unidad, aunque esto no suele producirse, salvo tal vez en experimentos de laboratorio, donde puede darse una serie de circunstancias muy difíciles de reproducir en condiciones normales.

- **Par motor.** Es el momento de fuerza con que el motor mueve la máquina a la que va adosado, entendiéndose que aquél proporciona un movimiento circular que depende del diámetro del dispositivo acoplado a su eje.

#### 4.8. Máquinas de corriente continua (cc).

La primera máquina eléctrica que se empleó en aplicaciones de potencia fue la máquina de corriente continua (C.C.) en la segunda mitad del siglo XIX. La razón de ello fue que, en un principio, no se pensó que la corriente alterna tuviera las ventajas que hoy se le conocen, especialmente en la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias. De hecho los primeros sistemas de potencia fueron sistemas de C.C.

La máquina de C.C. fue ideada por el belga Gramme alrededor de 1860 y empleaba un enrollado de rotor especial (anillo de Gramme) para lograr la conmutación o rectificación del voltaje alterno generado. Posteriormente, el físico W. Siemens y otros, contribuyeron al desarrollo de estas máquinas realizando mejoras en su construcción, hasta llegar a la máquina de CC que se conoce hoy.

Pese a las mejoras que han sido desarrolladas en su diseño, la máquina de corriente continua es constructivamente más compleja que las máquinas de corriente alterna, el empleo de escobillas, colector, etc., la hace comparativamente menos robusta, requiere mayor mantenimiento y tiene un mayor volumen y peso por kilo-watio de potencia.

No obstante lo anterior, la máquina de C.C. tiene múltiples aplicaciones, especialmente como motor, debido principalmente a:

- Amplio rango de velocidades, ajustables de modo continuo y controlables con alta precisión,
- Característica de torque-velocidad variable,
- Rápida aceleración, desaceleración y cambio de sentido de giro.
- Posibilidad de frenado regenerativo.

a. Principio de funcionamiento.

Cuando un conductor por el que fluye una corriente continua es colocado bajo la influencia de un campo magnético, se induce sobre él (el conductor) una fuerza que es perpendicular tanto a las líneas de campo magnético como al sentido del flujo de la corriente. Ver la figura. Ver la [Primera ley de la mano derecha](#)

- Campo magnético en azul
- Corriente continúa en rojo
- Dirección de la fuerza en violeta
- Imanes: N (norte) y S (sur)



Fig. 24. Ley de la mano derecha

Para que se entienda mejor, ver como se tiene que colocar este conductor con respecto al eje de rotación del rotor para que exista movimiento. En este caso la corriente por el conductor fluye introduciéndose en el gráfico.

- Par motor en azul
- Fuerza en violeta
- Conductor con corriente entrante en el gráfico azul y rojo
- Imanes: N (norte) y S (sur)

Pero en el rotor de un motor cc no hay solamente un conductor sino muchos. Si se incluye otro conductor exactamente al otro lado del rotor y con la corriente fluyendo en el mismo sentido, el motor no girará pues las dos fuerzas ejercidas para el giro del motor se cancelan.

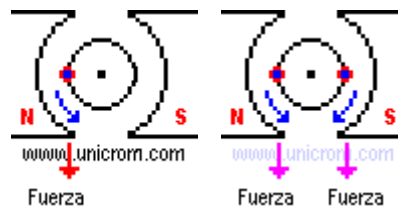


Fig. 25. Varios conductores con intensidades fluyendo en el mismo sentido

- Par motor en azul
- Fuerza en violeta
- Conductor con corriente entrante en el gráfico azul y rojo
- Imanes: N (norte) y S (sur)

Es por esta razón que las corrientes que circulan por conductores opuestos deben tener sentidos de circulación opuestos. Si se hace lo anterior el motor girará por la suma de la fuerza ejercida en los dos conductores.

Para controlar el sentido del flujo de la corriente en los conductores se usa un conmutador que realiza la inversión del sentido de la corriente cuando el conductor pasa por la línea muerta del campo magnético.

La fuerza con la que el motor gira (el par motor) es proporcional a la corriente que hay por los conductores. A mayor **tensión**, mayor corriente y mayor par motor.

### b. Fuerza contra-electromotriz de un motor CC

Cuando un motor de corriente continua es alimentado, el **voltaje** de alimentación ( $V_m$ ) se divide en:

- La caída de tensión (voltaje) que hay por la resistencia de los arrollados del motor (debido a la resistencia interna  $R_a$ ) y...
- Una tensión denominada **fuerza Contraelectromotriz (FCEM)**.

Ver el siguiente diagrama, Donde:

- $V_m$  = tensión de entrada al motor (voltios)
- $R_a$  = resistencia del devanado de excitación (ohmios)
- $I_a$  = corriente de excitación (amperios / amperes)
- $V_b$  = FCEM debido al giro del motor (voltios)

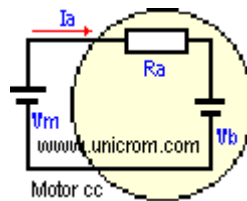


Fig. 26. Circuito equivalente

Aplicando la **ley de tensiones de Kirchoff**:

$$V_m = V_b + (I_a \times R_a) \quad \text{o} \quad V_b = V_m - (I_a \times R_a)$$

Nota: Observar de la última ecuación, que cuando sube el valor de la **corriente**  $I_a$ , disminuye el Valor de  $V_b$ .

La **FCEM** es proporcional a la velocidad del motor y a la intensidad del **campo magnético**. Si el motor tiene rotor con imán permanente esta constante es:

$$K = V_b / N_d.$$

Donde:

- $K$  = constante de FCEM del motor y se expresa en Voltios / rpm.
- $N_d$  = Velocidad de giro del motor en rpm
-

## 4.9. Motores de corriente alterna (ca).

Los motores eléctricos son máquinas rotativas capaces de transformar energía eléctrica que reciben por sus bornes, en este caso en forma de CA, en energía mecánica, que transmiten por su eje. Se dividen en síncronos o asíncronos, según sea la velocidad de rotación de la parte móvil y que coincida o no con la velocidad sincrónica de la frecuencia de la red de alimentación.

El principio de funcionamiento consiste en aplicar una corriente al bobinado estático o inductor que genera un campo magnético giratorio que atraviesa los conductores del rotor, lo que provoca una reacción que hace que se ponga en movimiento, en este caso, esta reacción se produce por inducción, ya que el rotor, al contrario de lo que sucede en los motores de CC, no recibe tensión.

Como se ha indicado, cuenta con un circuito magnético y dos eléctrico. De estos dos últimos, uno sirve como excitación, ya que el paso de la corriente crea el flujo necesario para generar una fuerza electromotriz en el circuito del inducido, capaz a su vez de ponerla en marcha y desarrollar un par motor.

### a. Motor de inducción asíncrono.

**Se aplica el nombre de motor de inducción asíncrono al motor de CA cuya parte móvil, es decir, el rotor, gira a una velocidad diferente al del flujo giratorio o velocidad sincrónica.**

Su funcionamiento se basa en la acción de un flujo giratorio –generado en el circuito estático- sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el circuito del rotor. Si el rotor girase a la misma velocidad que el campo giratorio creado por las corrientes del estator, cada parte del rotor estaría siempre sometida al mismo valor del flujo, por lo que no se inducirán corrientes y por tanto no giraría.

Por el contrario, cuando se produce un deslizamiento, que provoca que la velocidad del rotor sea inferior a la del campo giratorio, el rotor se somete a una constante variación del flujo, con lo que sí se producen las corrientes inducidas.

Así pues en este tipo de motores, la velocidad del rotor no puede ser nunca igual a la del campo giratorio, o lo que es lo mismo, no puede llegarse a la velocidad de sincronismo, y de ahí reciben su nombre.

Para conocer la velocidad sincrónica de una máquina de CA aplicamos la fórmula:

$$n = \frac{60f}{p}$$

Donde

- n= velocidad sincrónica, en rpm.
- f= frecuencia de la corriente eléctrica.
- p= número de pares de polos de la máquina.

En el interior de la ranura del estator se acoplan los bobinados, formando el conjunto de devanados que contienen tantos circuitos como fases de alimentación. Cada devanado se compone de varias bobinas. El modo de conexión de las bobinas entre sí da lugar al número de pares de polos del motor y, por tanto, a la velocidad sincrónica o de rotación.

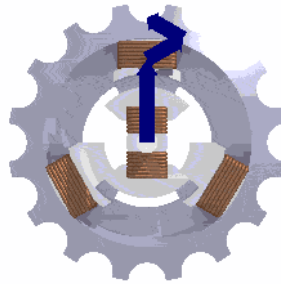


Fig. 27. Devanados de un motor síncrono

#### b. Motor asíncrono trifásico.

**Se denomina motor asíncrono trifásico si su campo giratorio es generado por un sistema de tres fases que se encuentran desfasadas  $120^\circ$  eléctricos.**

Este tipo se considera como el motor ideal para la mayoría de las aplicaciones por su precio, robustez y fácil mantenimiento. Tiene como inconveniente que absorbe gran intensidad de corriente en el momento del arranque, ya que la resistencia del rotor de jaula de ardilla es muy pequeña. Por ello, en motores con una potencia superior a 3kW se recurre a reducir dicha tensión.

#### c. El motor de rotor de jaula de ardilla simple.

En las ranuras dispuestas en el exterior del cilindro que forma el rotor, y paralelamente a su eje, se colocan los conductores. Estos conductores son barras de cobre que se sueldan a dos anillos o coronas del mismo material, creando un circuito totalmente cerrado. El conjunto así formado tiene el aspecto de una jaula de ardilla, de ahí el nombre de este tipo de rotor. Hoy, su forma constructiva ha cambiado y está compuesto por un conjunto de chapas.

Se considera el motor ideal para aquellas aplicaciones en las que la velocidad se mantiene constante. Soporta puntas de corrientes elevadas sin deteriorarse. Tiene un aspecto robusto y es fácil de reparar. En cambio, no se presta a la regulación de velocidad, si exceptuamos determinados tipos. El par de arranque de estos motores es relativamente débil y la corriente que se absorbe durante la puesta en tensión es muy elevada respecto a la nominal.

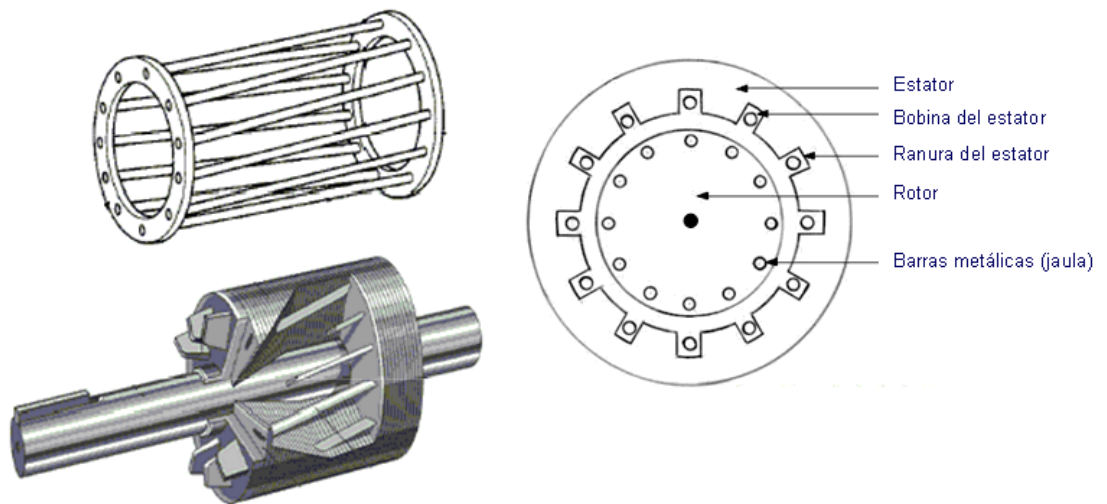


Fig. 28. Despiece de un motor de jaula de ardilla

#### d. El motor de rotor bobinado.

El motor de rotor bobinado es otro tipo de motor asíncrono de inducción, cuya característica más destacada es que lleva, en las ranuras del rotor, unos devanados trifásicos realizados en cobre o aluminio que se conectan en estrella por uno de sus lados. Uno de los extremos de cada fase que quedan libres están unidos a tres anillos de cobres aislados y solidarios con el rotor, formando un colector de anillos.

Sobre los anillos van colocadas unas escobillas de grafito con salidas al exterior, formando parte del dispositivo de arranque. El estator de estos motores es similar al de los de jaula de ardilla. El inconveniente que presentan es su corte y el hecho de que suelen ser más frecuentes las averías.

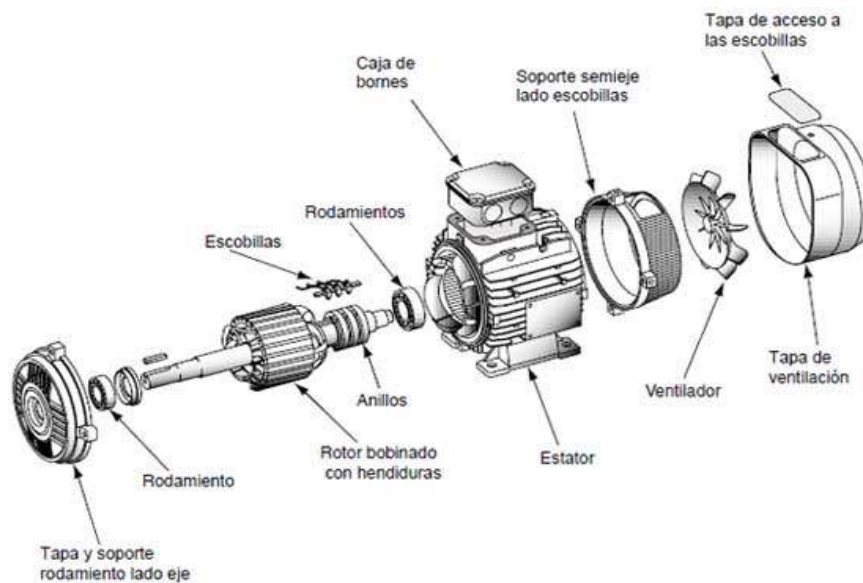


Fig. 29. Despiece de un motor de rotor bobinado

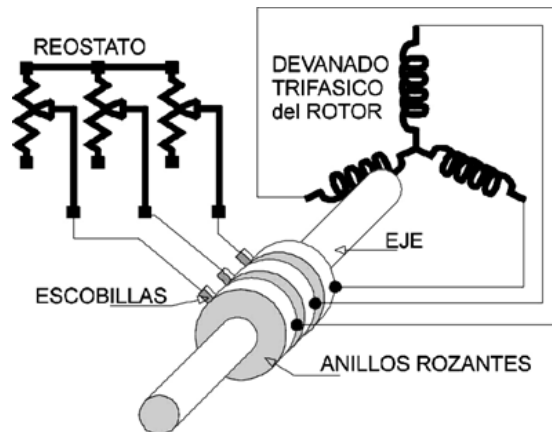


Fig. 30. Esquema de bobinados

#### e. Motor asíncrono monofásico.

**Los motores monofásicos** son muy parecidos a los trifásicos, pero su rendimiento y el factor de potencia son bastantes inferiores. Además, a igual potencia, son más voluminosos y su  $\cos \varphi$  es mucho peor. Los motores asíncronos monofásicos solo se utilizan cuando no es posible usar sus homólogos trifásicos.

Ambos están formados por el estator o parte fija alojada en el bobinado inducido, el cual está compuesto por un número par de polos que se conectan a la red de alimentación, y su rotor suele ser de jaula de ardilla, en la mayoría de los casos.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la corriente monofásica no genera un campo giratorio, sino alternativo. Por esta razón, los motores no pueden arrancar por sí solos, sino que necesita de una fuerza exterior que inicie el movimiento, recurriendo a diferentes formas constructivas para permitir el arranque del motor.

Existen muchos tipos de motores, pero los más utilizados son con **bobinado auxiliar de arranque, de espira en cortocircuito y motores universales.**

**Los motores monofásicos con bobinado auxiliar de arranque**, también conocidos con el nombre de motores de fase partida, constan de dos bobinados, uno principal o de funcionamiento permanente y otro auxiliar o de arranque. En el bobinado del estator disponen de una sola fase. Así pues, es necesario proveer al motor de un sistema adecuado para que pueda iniciar el arranque. El procedimiento idóneo consiste en desfasar el bobinado auxiliar  $90^\circ$  geométricos con respecto al principal. Ambos bobinados se conectan en paralelo en la placa de bornes, y cuando se ponen en tensión, una corriente atraviesa la fase principal y otra corriente, más débil y desfasada en el tiempo, por la fase auxiliar. El campo generado lo producen dos corrientes, desfasadas cada una respecto a la otra, y el campo giratorio resultante es suficiente para provocar el arranque en vacío del motor. Los motores monofásicos de fase partida pueden llevar a su vez, resistencia, inductancia y condensador.



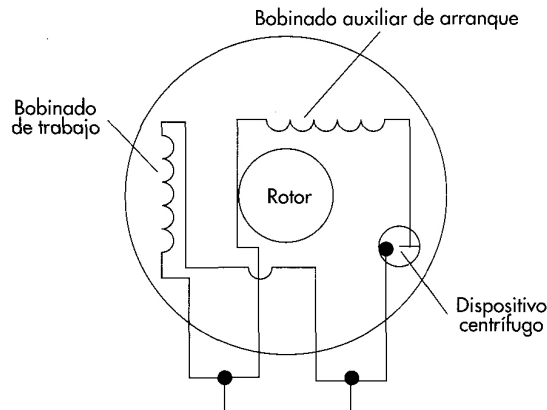


Fig. 31. Diagrama de motor de fase partida

**Los motores de espira en cortocircuito**, también llamados de polos partidos con espira auxiliar, pertenecen al tipo de los denominados motores de polos salientes. Suelen llevar una ranura longitudinal en la que se sitúa una espira de cobre que hace cortocircuito para que realice el trabajo del bobinado auxiliar. Durante el periodo de arranque, los polos inducen una corriente en la espira capaz de generar un campo magnético en el polo principal. Como existe un desfase, la combinación de ambos campos crea uno giratorio que pone en marcha el motor.

**El motor universal** es un tipo de motor monofásico que funciona indistintamente con CC y CA. Es muy utilizado en pequeños electrodomésticos, sobre todo en aquellos en que necesitan una potencia de funcionamiento inferior a 1CV (1CV=736W). Está construido de la misma manera que un motor serie de CC, al que se asemeja también en su funcionamiento, y cuyas principales características son que dispone de un par de arranque fuerte y que su velocidad varía de forma inversamente proporcional a su carga.

#### 4.10. Tensión de los motores trifásicos de jaula de ardilla.

Todo motor trifásico de jaula de ardilla es un receptor bitensión, es decir, funciona con dos tensiones de alimentación sin que cambie ninguno de sus parámetros, salvo el de la intensidad de corriente que recorre el bobinado estatórico. La potencia, el par motor y la velocidad se mantienen constantes, independientemente de la tensión a la que estén conectados.

Debe tenerse en cuenta que ambas tensiones no son arbitrarias, sino que están relacionadas por el coeficiente  $\sqrt{3}$ . Un motor cuya placa de característica indica 230/400V puede conectarse a cualquiera de dichas tensiones, teniendo en cuenta que la menor tensión corresponde siempre a la conexión estrella y que la mayor a la conexión en triángulo (se habla de tensiones en los bobinados).

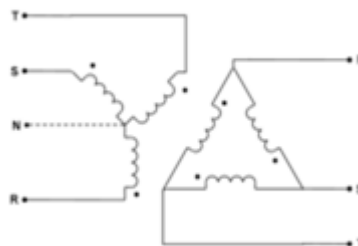


Fig. 32. Conexión de un motor trifásico

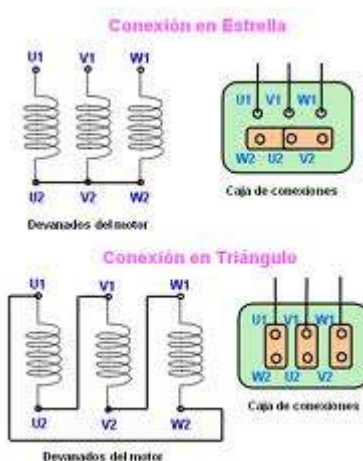


Fig. 33. Conexión de los bobinados.

#### 4.11. Arranque de los motores trifásicos de jaula de ardilla.

Antes de elegir un motor, hay que tener en cuenta algunos datos que pueden ser muy importantes:

- i. Se debe saber si el motor tiene que arrancar en vacío, a media o plena carga, y el tiempo que dura el periodo de arranque.
- ii. Cuando el motor se conecta directamente a la red y empieza a recibir tensión, absorbe una gran intensidad, lo que puede provocar una caída de tensión en la línea, pudiendo verse afectado el normal funcionamiento de otros receptores.
- iii. Para evitar estos inconvenientes, los motores que sobrepasan cierta potencia no pueden arrancar de forma directa. Hay que recurrir a sistemas en los que la relación entre intensidad de arranque e intensidad nominal de funcionamiento esté en función de dicha potencia.
- iv. Por construcción, solo los extremos de los devanados del estator tienen conexión a la placa de bornes. La regulación de la intensidad, en el momento del arranque, solo podrá reducirse actuando sobre la tensión que llega a dicha placa de bornes. Esta reducción de intensidad lleva consigo una fuerte disminución del par motor.

##### a. Determinación del sistema de arranque.

Antes de decir el sistema de arranque que va a emplearse hay que tener en cuenta algunas cuestiones. Debe seleccionarse el arrancador más simple. Hay que saber si la instalación está preparada para soportar una punta de intensidad que permita poner en marcha un motor de manera directa. Hay que constatar que pueden arrancarse las máquinas que deban hacerlo en plena carga.

Es imprescindible saber si la alimentación de los equipos se realiza mediante un centro de transformación particular o mediante una red de baja tensión de la compañía de suministro eléctrico, en cuyo caso hay que atenerse a lo que establece el reglamento electrotécnico de baja tensión sobre este particular.

Cuando la línea es particular, hay que tener en cuenta la punta de que puede producirse en la parte alta de tensión, pues podrían fundirse los fusibles. De igual manera,

hay que saber si el arranque del motor puede producir una caída de tensión en la línea que repercuta en otros receptores.

Si es la máquina la que requiere un arranque más suave, reduciremos tensión y par en el circuito del estator.

Cuando la instalación no está preparada para soportar el valor de la punta de intensidad, tendremos que decidimos por escoger un sistema de arranque capaz de reducir la tensión, la intensidad y el par motor. La elección del motor pasa igualmente por el estudio de la máquina a la que va acoplado, para poder determinar las condiciones que debe cumplir durante el periodo de puesta en marcha.

Si una máquina arranca en vacío, necesita un par débil, aunque constante. A este grupo pertenecen las máquinas-herramientas tradicionales. Puede emplearse el sistema de conexión estrella-triángulo. Con él, y en motores de gran potencia, se debe procurar que el primer tiempo del arranque, es decir, en estrella, sea capaz de llevar el motor hasta el 80% de su velocidad nominal. En ese momento, podrá efectuarse el cambio a la conexión triángulo, de manera que pueda llegar a los valores nominales respectivos.

Cuando la máquina requiere un par de arranque mayor que el anterior, y que puede llegar hasta el 50% del nominal, podemos optar por realizar el arranque mediante motor reductor de jaula con resistencias estatóricas. Si la punta de corriente debe reducirse aún más, optaremos por el arranque mediante autotransformador. Si no diera resultado, recurriremos al motor de rotor bobinado, con resistencias retóricas, que permite el arranque con puntas de intensidad menores.

Cuando las máquinas tienen que arrancar a plena carga, es conveniente utilizar un motor de rotor bobinado, con resistencias rotóricas.

A la hora de elegir una maniobra para una máquina, debemos tratar de conseguir un buen equilibrio entre el valor del par resistente que presenta la máquina durante el periodo de arranque, el par motor para vencer ese par resistente durante el mismo periodo, y el tiempo que debe durar este periodo.

El primer punto es una característica de la máquina que no puede modificarse. El segundo debe establecerse en función del primero, con la condición de que tienen que ser superior a aquél para que el motor adquiriera una aceleración capaz de llegar a la velocidad nominal. En el tercero, la duración del arranque depende de los otros dos, ya que influye la diferencia entre el par resistente y el del motor, la inercia que puedan tener las masas que mueve el motor y el valor de la velocidad que este pueda alcanzar.

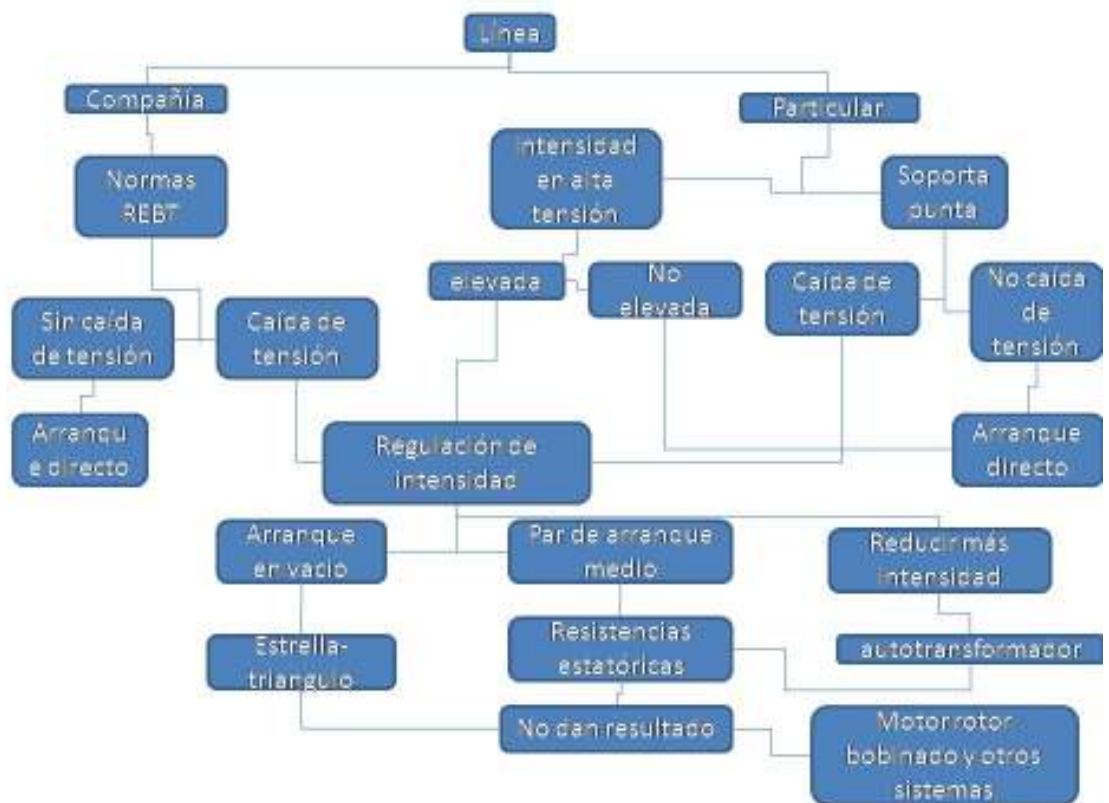


Fig. 34. Diagrama de elección del sistema de arranque de motores eléctricos

#### b. Arranque directo.

**El arranque directo es la forma de arranque en la que el bobinado del estator recibe, en un solo tiempo, la tensión de la red de alimentación.**

En este sistema de arranque el motor se pone en marcha con un fuerte incremento de la intensidad pero manteniendo todas sus características. Es el mejor sistema para la puesta en marcha de cualquier máquina de pequeña y mediana potencia, porque permite el arranque incluso a plena carga, siempre que el valor de intensidad esté en unos límites tolerables. El valor de la intensidad durante la puesta en marcha oscila entre cuatro y ocho veces la intensidad nominal. Durante este periodo, el par es también superior al par nominal. Cuando el motor alcanza el 80% de su velocidad nominal, el valor de intensidad queda prácticamente estabilizado.

Si la aplicación de las normas o las especificaciones técnicas hacen necesario reducir la punta de intensidad en la puesta en marcha o reducir el par inicial, debemos alimentar el estator del motor durante el primer tiempo con tensión reducida. Además, en España, el REBT (ITC-BT 47) establece que el valor de la intensidad en el momento del arranque no debe sobrepasar a los de su intensidad nominal más allá de los especificados en la siguiente tabla:

Motores de cc		Motores de ca	
Potencia Nominal	Constante máxima de proporcionalidad entre intensidad de arranque y la nominal	Potencia Nominal	Constante máxima de proporcionalidad entre intensidad de arranque y la nominal
De 0,75 a 1,5 KW	2,5	De 0,75 a 1,5 KW	4,5
De 1,5 a 5 KW	2	De 1,5 a 5 KW	3
Superior a 5KW	1,5	De 5KW a 15 KW	2
		Superior a 15 KW	1,5

El propio reglamento establece algunas excepciones a esta norma, según se cita “siempre que las corrientes que se admitan, en cada caso, no perturben el funcionamiento de sus redes de distribución”.

#### c. Elementos de un arrancador directo.

Según el reglamento electrotécnico de baja tensión, **toda instalación de motores debe contar con un equipo de protección contra cortocircuitos y sobre cargas** en todas sus fases, esta última, en los motores trifásicos, debe cubrir el riesgo de falta de tensión en una de sus fases.

Igualmente debe contar con un dispositivo automático que lo proteja, evitando que pueda ponerse en marcha por sí solo cuando se restablezca la tensión de servicio, tras un corte de alimentación. Con ello se evita que puedan producirse accidentes, o perjudicar al motor, de acuerdo con la norma UNE 20,460-4-45.

Así, el equipo debe contar al menos con tres fusibles de alto poder de ruptura debidamente calibrados para la protección de la red de alimentación, un contactor tripolar preparado para la intensidad y tipo de trabajo a realizar, y un relé térmico que debe garantizar protección contra las sobrecargas del motor, por cualquier causa. El elemento de mando puede ser permanente o instantáneo.

La acción de puesta en marcha puede realizarse desde una o varias cajas de pulsadores de marcha-paro. Al conjunto formado por todos estos elementos se le conoce, en el ámbito profesional, como guardamotor.

#### d. Equipo para el arranque de un motor monofásico.

Teniendo en cuenta que su aplicación principal son los electrodomésticos de los que forman parte, no precisan de ningún equipo especial de arranque. Se acoplan a los dispositivos auxiliares que los hacen funcionar, y que pueden ser termostatos, presostatos, programadores, etc. no obstante, cuando se utiliza en cualquier otro dispositivo, el motor monofásico, al ser de pequeña potencia, puede arrancarse de la misma forma que un motor trifásico: mediante arranque directo y controlado por un guardamotor.

Para emplear un guardamotor como elemento de mando y protección en un motor monofásico debemos tener presente que el circuito de potencia tiene que sufrir una pequeña transformación. Esto es así porque está conectado únicamente a dos hilos: una sola fase como conductor activo y el neutro.

#### e. Protección térmica de motores con periodos de arranques largo.

En los motores generalmente grandes y por tanto con largos periodos de arranque, el valor de la intensidad es muy elevado, lo que se provoca que se dispare el relé térmico antes de que llegue a su velocidad nominal y por ende antes de que se establezca en su velocidad nominal.

En estos casos, para asegurar la protección térmica no puede recurrirse a incrementar el rango del relé, ya que si bien pudiera servirnos en el momento de arranque, en el funcionamiento normal del motor cualquier anomalía que hiciera variar la intensidad por encima de la nominal, sin llegar a alcanzar aquellos que se han fijado en el relé, podría quemar el motor, y aun así este no actuaría.

Es necesario recurrir a soluciones eficaces y que realmente protejan el motor:

- Emplear **termistancias**. Es un sistema de protección contra sobrecargas pequeñas pero resistentes y trabaja controlando la temperatura de los devanados del motor.
- Utilizar un relé térmico alimentado por los secundarios de tres transformadores de intensidad de bajo índice de saturación. Así, durante el arranque del motor y mientras la punta de intensidad no esté estabilizada, los transformadores estarán saturados, haciendo que la corriente en el bimetálico del relé térmico aumente menos que en el circuito que protege.
- **Shuntar**, con la ayuda de un contactor, el relé de protección durante el arranque. Al final de este, un contacto auxiliar temporizado provoca la apertura del contactor que nos ha servido para shuntar el relé, introduciendo de nuevo los bimetálicos en el circuito del motor.

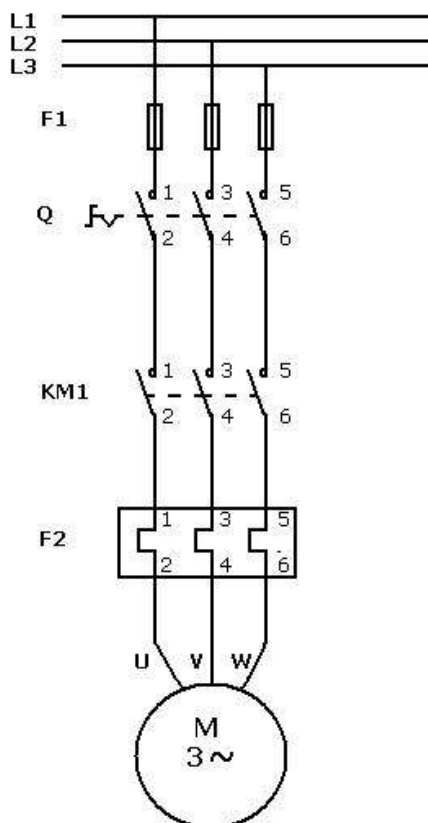


Fig. 35. Arranque directo de un motor