

MOTORES ELÉCTRICOS

M.1 Partes y conexionado.

M.2 Inducción y deslizamiento.

M.3 Rendimiento y curva característica.

M.4 Regulación y arranque.

M.5 Motores monofásicos.

M.6 Motores de corriente continua.

M.7 Motores síncronos.

M.1 PARTES Y CONEXIONADO

Comenzaremos estudiando el motor asíncrono trifásico o motor de inducción trifásico, que por su robustez, bajo mantenimiento y sencillez de utilización es el motor más ampliamente utilizado en la industria.

1) PARTES DE UN MOTOR

El motor asíncrono trifásico tiene por dos partes fundamentales:

- **Estátor:** es la parte fija del motor, está compuesta por la **carcasa** de acero que contiene al **núcleo magnético** del devanado estatórico o inductor. Esta carcasa sirve para proteger y disipar el calor generado dentro del motor a través de sus aletas. El núcleo estatórico está compuesto por un conjunto de chapas de hierro apiladas, formado un cilindro hueco, en cuyo interior se alojará el rotor. En el interior de este núcleo se han practicado un conjunto de ranuras donde se bobinan el **devanado inductor**.

- **Rótor:** es la parte móvil del motor. Acoplado al eje se sitúa el núcleo rotórico, en cuya superficie de alojan cierto número de barras conductoras cortocircuitadas en sus extremos mediante anillos conductores. Este tipo de rótores se llaman de **jaula de ardilla**. El eje de giro se sujeta a la carcasa mediante unos **cojinetes** o rodamientos, y transmiten el par de fuerzas a la carga mediante una transmisión mecánica de tipo engranaje, correa, o cadena, con embrague y/o freno mecánico. La transmisión hace la función de **reductor** de velocidad, adecuando la velocidad del motor a la velocidad de la carga.

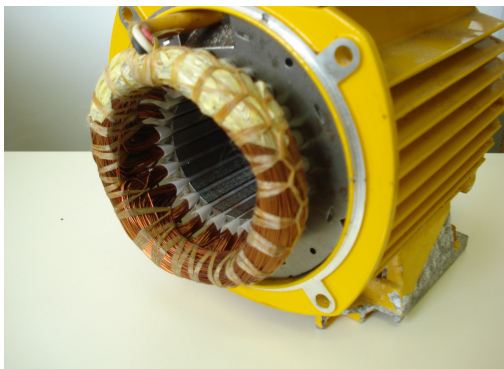


Fig. 1: Estator



Fig. 2: Rótor de jaula de ardilla

- **Refrigeración:** si acoplamos un ventilador al eje de giro, éste refrigerará al motor cuando gire, evacuando el calor al exterior, esto se llama auto-ventilación. También existen motores con ventilación forzada, si el ventilador tiene su propio motor, o refrigerados con agua, aceite,...

- **Caja de bornes:** Aloja a los terminales de los devanados estatóricos para su conexión a la alimentación. Existen 2 terminales por devanado, y un devanado por fase.

- **Entrehierro:** Es el espacio de aire que separa el estátor del rotor. Debe ser lo más reducido posible para minimizar los flujos de dispersión y reducir la reluctancia del circuito magnético (el aire conduce peor el flujo magnético que el hierro).

2) CONEXIONADO

Los motores asíncronos trifásicos son motores **bitensión**, puede conectarse a dos tensiones de red diferentes, p.e 220/380 V. La tensión menor indica la tensión de fase nominal, osea, la máxima tensión a aplicar al bobinado. Un exceso de tensión puede provocar perforaciones en el aislamiento y/o sobrecalentamiento, reduciendo drásticamente la vida útil. Una tensión demasiado pequeña reduce en un tercio potencia útil del motor. Así, ante una red con la tensión menor conectaremos el motor en triángulo, y ante una red con la tensión mayor lo conectaremos en estrella.

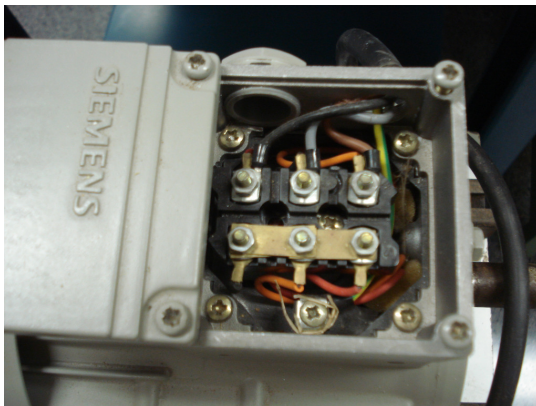
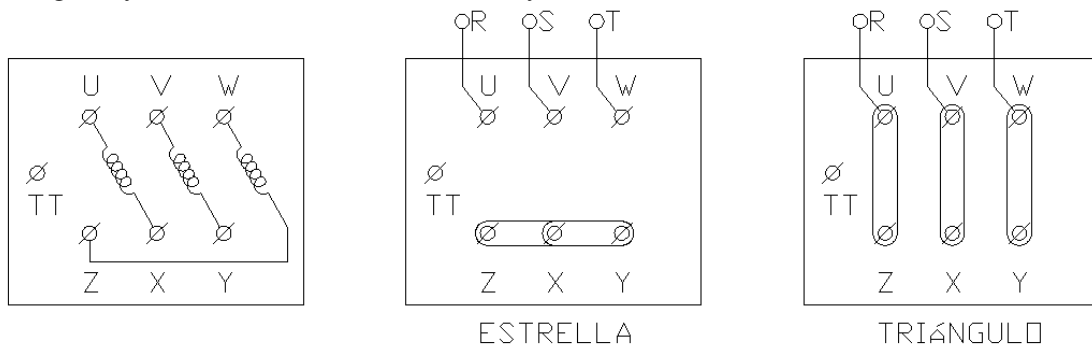


Fig. 3: Conexión en estrella

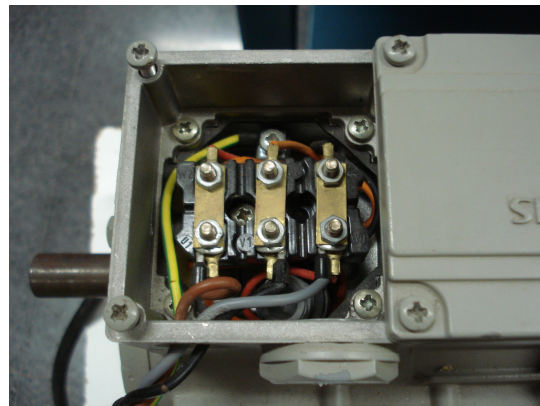


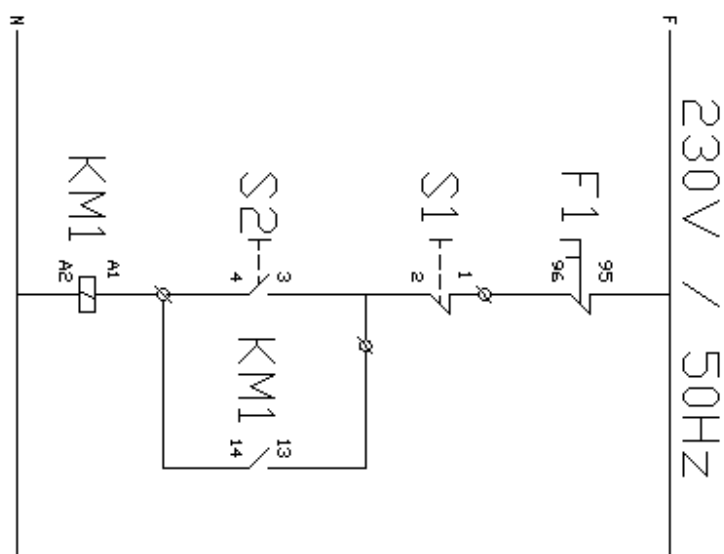
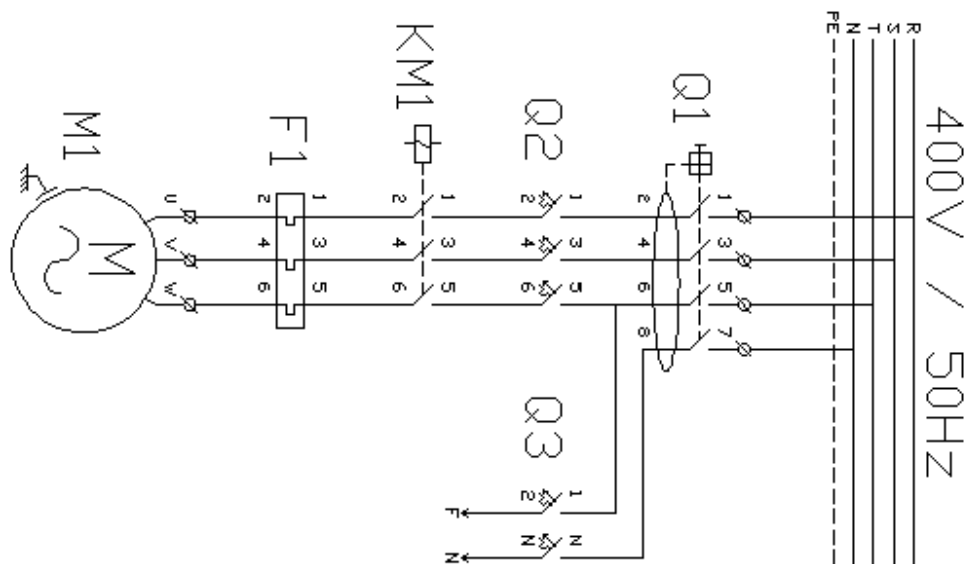
Fig. 4: Conexión en triángulo

Ejercicio 1: Sea una red trifásica de 400 V y un motor bitensión de 230/400 V, ¿cómo debemos conectar el motor?

Sol: Como la tensión de red es de 400V entre fase y fase, si lo conectamos en triángulo le estaremos aplicando 400 V a cada bobinado, siendo 230 V la máxima tensión aplicable, por que sería incorrecto.

Si lo conectamos en estrella, le estaremos aplicando la tensión entre fase y neutro de la red, o sea, los 230 V necesarios.

PRÁCTICA 1: ARRANQUE DIRECTO DE UN MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO.



M.2 INDUCCIÓN Y DESLIZAMIENTO

El núcleo magnético del estator tiene en su interior unas ranuras donde se alojan los bobinados inductores. Cada bobinado está compuesto por un número par de polos opuestos, que al circular corriente por ellos, crean un flujo magnético que atraviesa el rotor y retorna por el estator. A continuación se observa un estator con una sola fase.

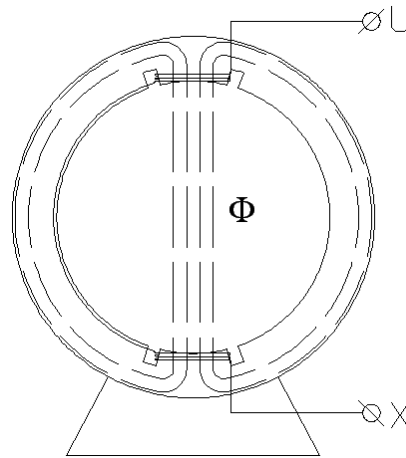


Fig. 5: Circulación de flujo en el estator

Este flujo tendrá dirección ascendente o descendente según la dirección de la corriente, o sea, de la polaridad instantánea de dicha fase de la corriente alterna.

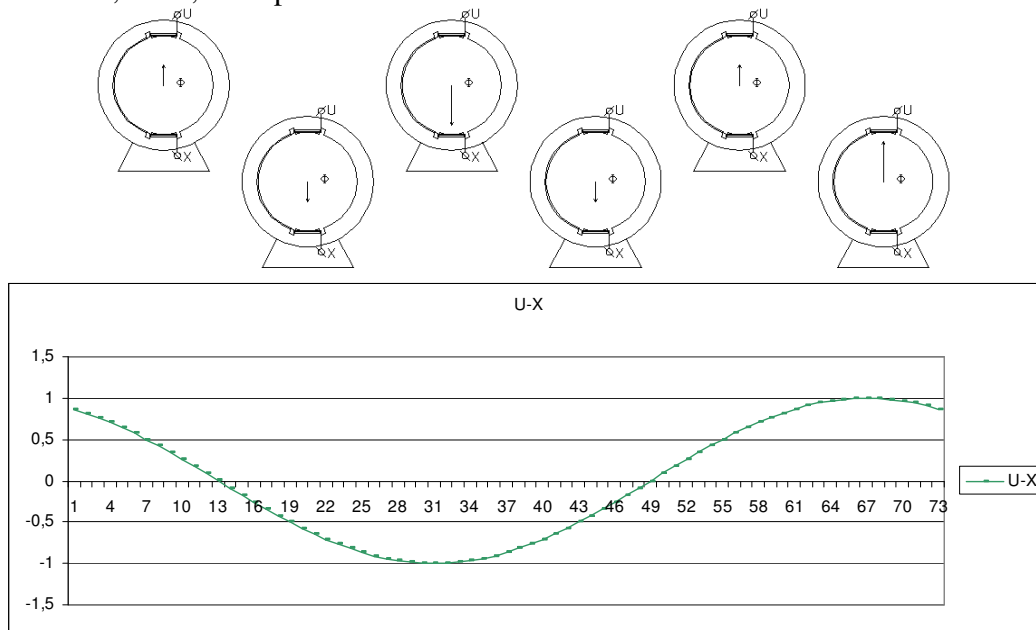


Fig. 6: Flujo magnético alterno dentro del estator creado por un solo bobinado

Cuando juntamos los tres flujos magnéticos (uno por cada fase) se observa que el efecto conjunto es un **campo magnético rotatorio uniforme**.

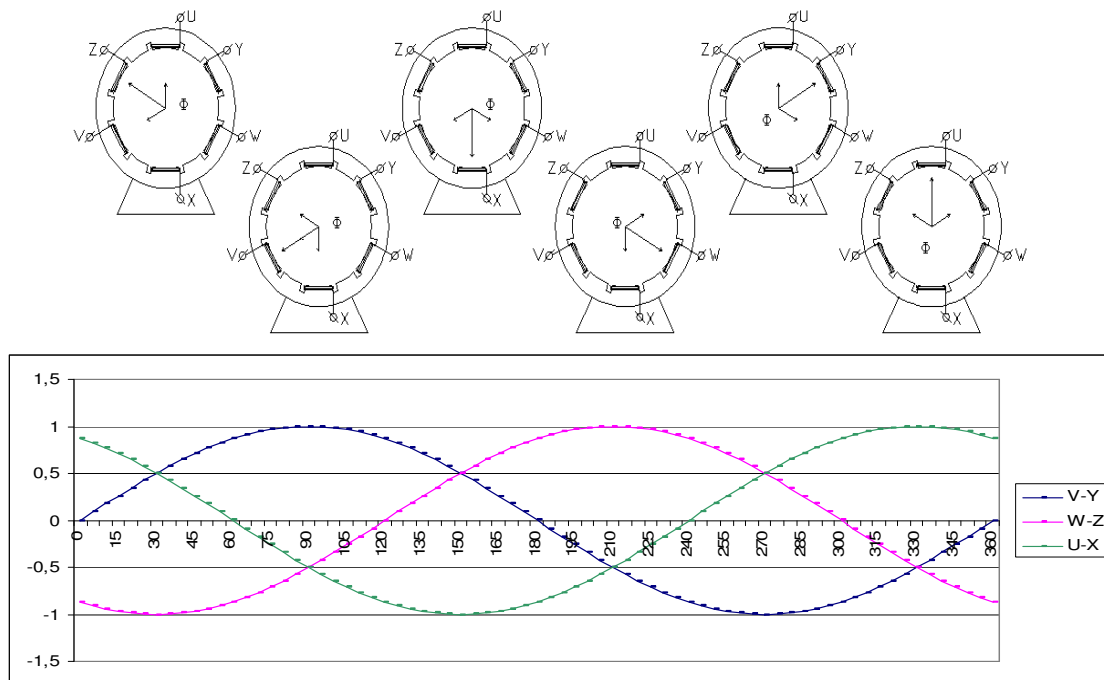


Fig. 7: Flujo magnético rotatorio dentro del estator creado por tres bobinado desfasados

La velocidad de rotación del flujo magnético, es en este caso igual a la frecuencia de la red (en cada ciclo el flujo gira una vuelta). A esta velocidad se le llama **velocidad de sincronismo**. Si al estator le practicamos más ranuras podemos aumentar el número de polos de cada bobinado. Llamando p al número de pares de polos por fase del estator, observamos que para cada vuelta hace falta p ciclos de res. Entonces:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Siendo n_s la velocidad de sincronismo (rpm) y f la frecuencia (Hz).

Ejercicio 1: Calcula las velocidades de sincronismo a 50Hz con $p=1,2,3$ y 4 .

Sol:

p	1	2	3	4
n_s	3000 rpm	1500 rpm	1000 rpm	750 rpm

Al situar ahora una espira cortocircuitada en el interior del estator, y ser flujo rotatorio, la variación de dicho flujo induce una fuerza electromotriz que crea unas corrientes en el rotor, y estas corrientes, en presencia del campo magnético d el estator crean un par de fuerzas que hacen girar al rotor. Es decir, que para que se induzca corriente debe haber movimiento relativo entre el flujo rotatorio y el rotor. Si el rotor gira a la vez que el flujo, desaparece la corriente y por tanto el par de fuerzas. La velocidad del rotor será por tanto ligeramente inferior a la del flujo del estator. A esta velocidad le llamamos **velocidad de asincronismo** (n).

A la diferencia entre ambas velocidades le llamamos **deslizamiento** (s), y suele estar comprendido entre 1% para los motores grandes y 8% para los motores pequeños.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Ejercicio 2: ¿Qué deslizamiento tiene un motor cuya velocidad nominal es de 1380 rpm a 50Hz?

Sol: La velocidad de sincronismo inmediatamente superior es 1500 rpm, con 3 pares de polos. Entonces,

$$s = \frac{1500 - 1380}{1500} = 0,08 = 8\%$$

Ejercicio 3: ¿Cuál será la velocidad de sincronismo de ese mismo motor si lo conectamos a una red de 60Hz?

$$\text{Sol: La nueva velocidad de sincronismo será } n_s = \frac{60 \cdot 60}{3} = 1800 \text{ rpm.}$$

Veamos ahora cómo realizar una **inversión del sentido de giro** del motor. Observando el efecto conjunto de los tres campos magnéticos del estator, si intercambiamos dos tensiones senoidales cualesquiera, observamos que el flujo magnético global gira en sentido contrario, por ejemplo, intercambiando las tensiones de U-X con V-Y obtenemos:

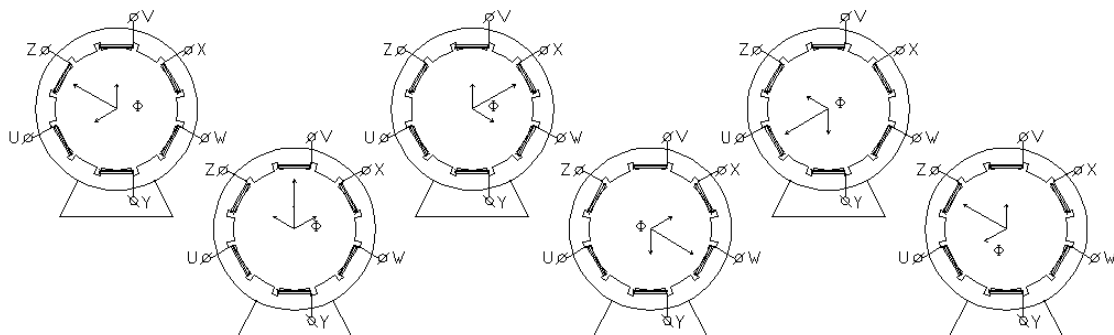
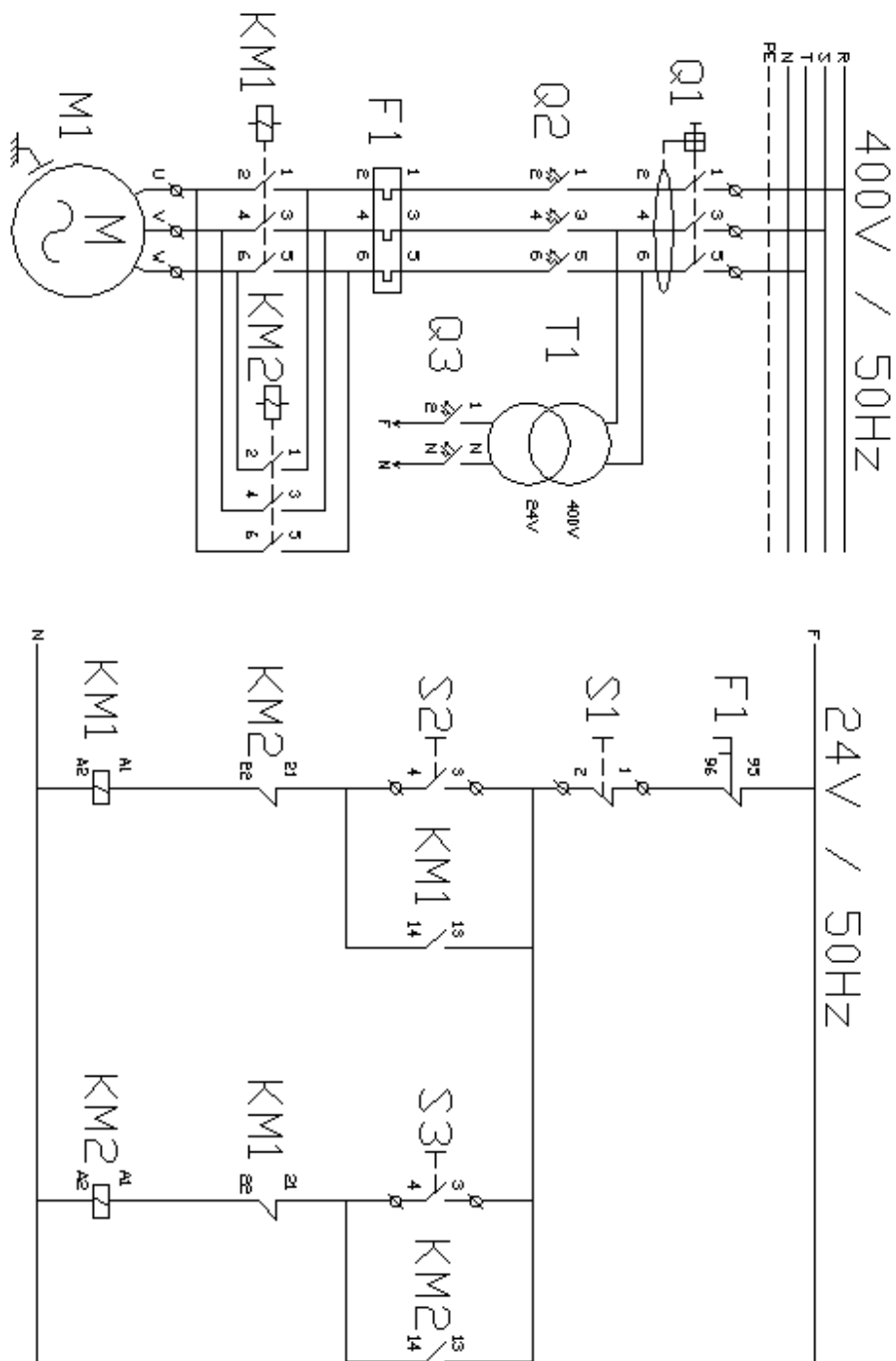


Fig. 8: Inversión del sentido de giro del flujo magnético rotatorio al intercambiar dos fases cualesquiera

Por tanto, si al arrancar un motor éste gira en el sentido contrario al deseado, bastará con cambiar 2 fases cualesquiera, y el motor girará en sentido correcto.

PRÁCTICA 2: INVERSOR DE GIRO DE UN MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO.



M.3 RENDIMIENTO Y CURVA CARACTERÍSTICA

Los motores asíncronos muestran en su placa de características una serie de parámetros que definen el funcionamiento del motor en su punto de máximo rendimiento o a plena carga. A estos parámetros se le denominan parámetros **nominales** del motor. Los más destacados son:

- Potencia nominal: es la potencia mecánica desarrollada en estas condiciones.
- Tensión e intensidad nominal: Son un par de valores (según se conecte en estrella o triángulo) que no se deben sobrepasar en condiciones normales de funcionamiento.
- Velocidad nominal.
- Frecuencia de red.
- Par nominal: par de fuerzas desarrollado a velocidad nominal.
- Factor de potencia nominal.

Esto no significa que el motor no pueda desarrollar más potencia que su nominal, al contrario, los motores asíncronos tienen una capacidad de sobrecarga transitoria de entre 2 y 7 veces su par nominal, por eso son tan robustos. A continuación se observa una curva par-velocidad típica de estos motores:

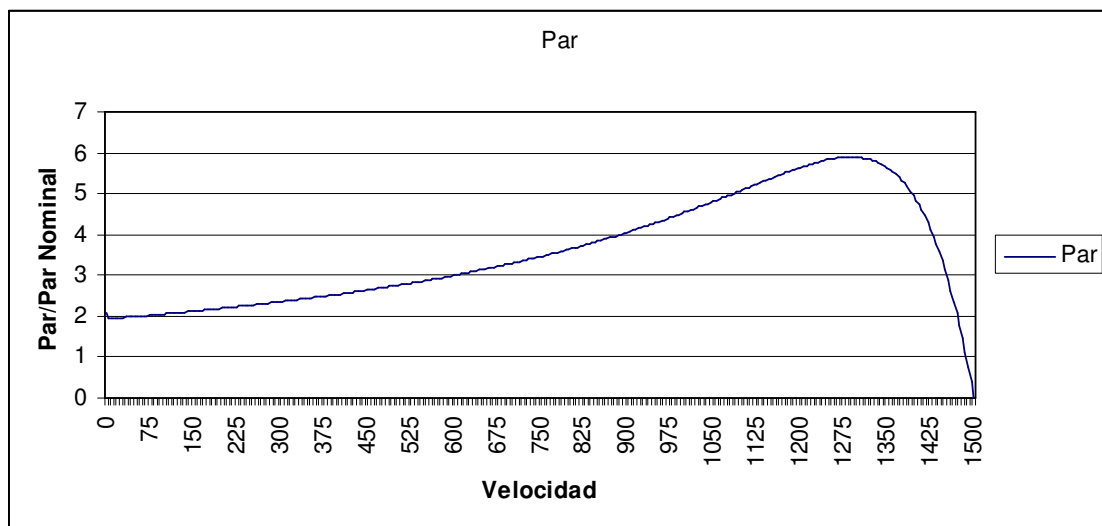


Fig. 9: Curva par motor-velocidad

La potencia nominal de este motor se obtiene a 1485 rpm, donde se desarrolla el par nominal. A 1500 rpm encontramos la velocidad de sincronismo, donde el par es nulo. El par máximo se obtiene a 1275 rpm. Entre este punto y el punto nominal se encuentra la zona de sobrecarga, admisible temporalmente, pero no de forma permanente. Por debajo de este punto está la zona inestable, pues a menor velocidad menor par de fuerzas, con lo

que el motor acaba por detenerse. Y a 0 rpm se encuentra el punto de arranque, que es la fuerza que puede ejercer el motor durante el arranque.

Desde el punto de vista energético, un motor transforma potencia eléctrica en mecánica, y disipando calor. Así, la potencia útil es la mecánica, la absorbida es la eléctrica y la disipada es la térmica. Por conservación de la energía:

$$P_{ele} = P_{mec} + P_{cal}$$

La potencia mecánica nominal aparece en la placa de características y se relaciona:

$$P_{mec} = T \cdot n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60}$$

donde P es la potencia en vatios (1CV=736W) T es el par de fuerzas (N·m) y n es la velocidad de rotación (rpm).

La potencia eléctrica trifásica es:

$$P_{ele} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Y el rendimiento de dicha transformación (η):

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{ele}}$$

Los motores asíncronos trifásicos presentan unos rendimientos nominales entre 75-85%.

Ejercicio 1: Calcula el rendimiento y las pérdidas en forma de calor de un motor de 2CV/230V/6A/cosφ=0,85.

Sol: el rendimiento se obtiene como $\eta = \frac{2 \cdot 736}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 6 \cdot 0,85} = 0,72 = 72\%$. Esto significa

que un 28% se pierde en forma de calor, es decir

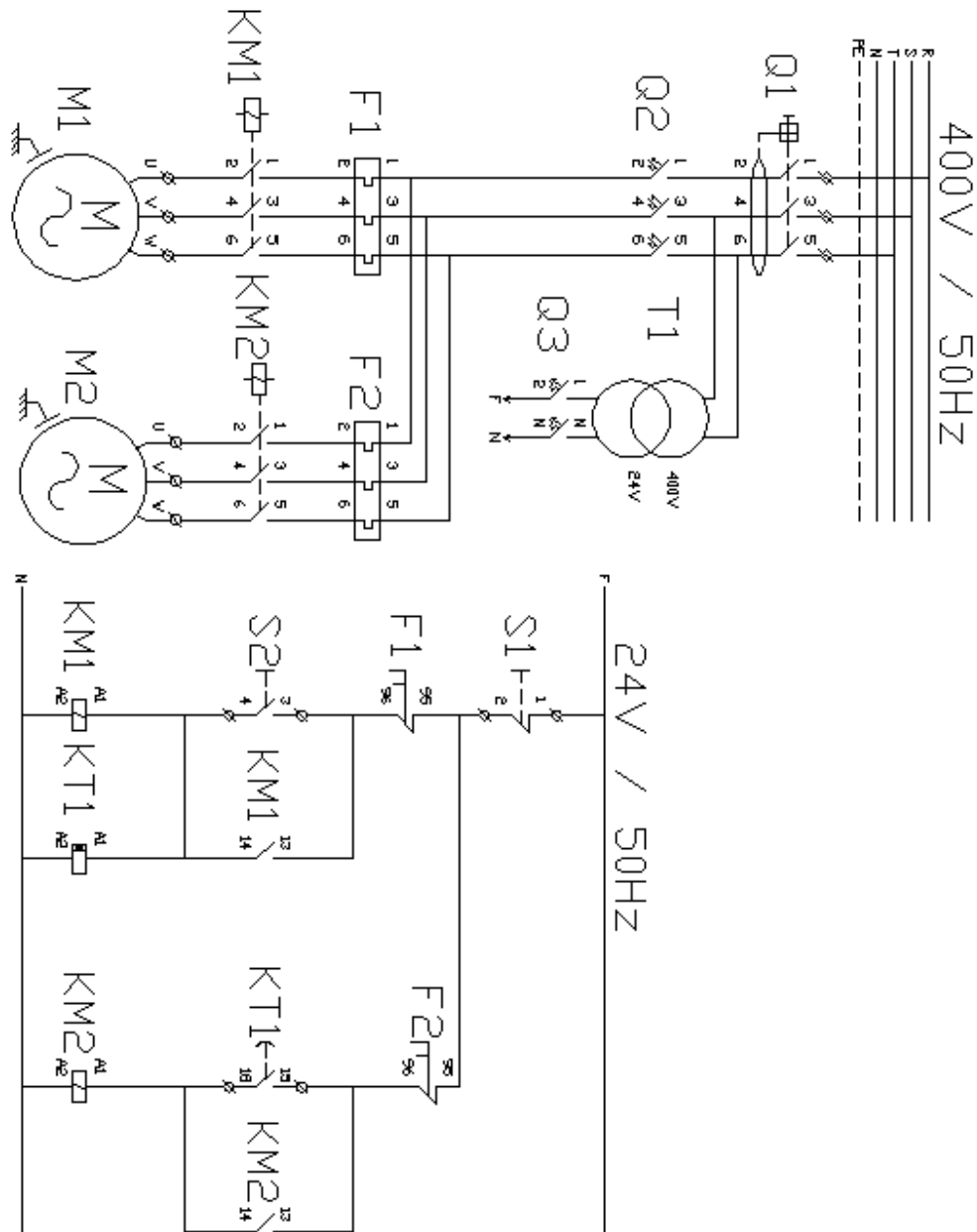
$$P_{cal} = P_{ele} \cdot \frac{28\%}{100} = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 6 \cdot 0,85 \cdot \frac{28\%}{100} = 572 \text{ W}$$

Ejercicio 2: Estima la intensidad y el par de fuerzas ejercido por un motor asíncrono trifásico de dos pares de polos y 12KW a 400V/50Hz.

Sol: estimamos la velocidad del motor entorno a 1400 rpm, un poco inferior a las 1500 rpm de sincronismo ($n=60f/p$), el factor de potencia a 0,85 y el rendimiento a

$$0,8, \text{ entonces: } I = \frac{12000}{0,8 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85} = 25 \text{ A y } T = 12000 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 1400} = 81 \text{ Nm}$$

PRÁCTICA 3: ARRANQUE DE DOS MOTORES CON RETARDO A LA CONEXIÓN.



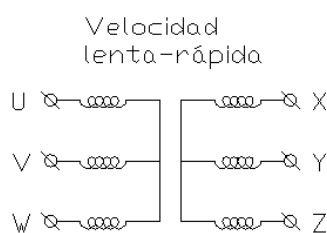
M.4 REGULACIÓN Y ARRANQUE

1) REGULACIÓN DE VELOCIDAD

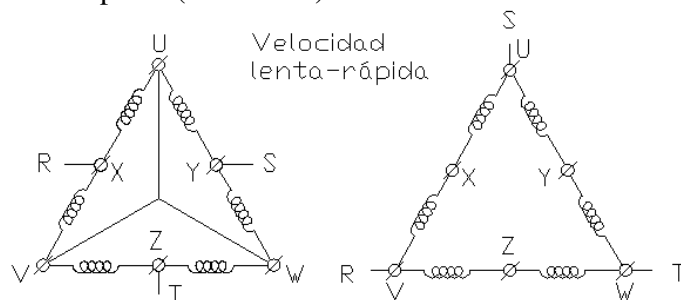
Los motores asíncronos trifásicos tienen un margen de regulación de velocidad muy estrecho, como hemos visto, su velocidad es casi la de sincronismos, y además su valor exacto se auto-ajusta con la carga aplicada. Si reducimos la tensión de alimentación reduciremos la potencia mecánica desarrollada, pero apenas variaremos su velocidad.

Para poder variar a voluntad la velocidad a la que gira estos motores tenemos varias formas posibles:

- **Variando el número de polos:** conseguimos motores con 2 velocidades, aunque esto sólo se puede hacer en estatores preparados a tal fin. Los dos métodos más usuales son:
 - dos devanados independientes (part-winding)
 - mediante la conmutación de sus polos (Dahlander)



PART-WINDING



DAHLANDER

- **Variando la frecuencia:** mediante un convertidor electrónico de frecuencia, le aplicamos la frecuencia deseada. Su progresiva reducción de coste ha provocado que el motor asíncrono junto con el variador de frecuencia sea la solución más utilizada en la actualidad para aplicaciones de bajas y medias prestaciones.

2) TIPOS DE ARRANQUE

Otro de los problemas asociados a los motores asíncronos trifásicos es su fuerte punta de arranque. Al aplicar toda la tensión de red al estator con el rotor parado, se induce unas corrientes muy fuertes en el rotor, y por tanto en el estator. Este efecto se amortigua conforme la carga va adquiriendo inercia.

La sobrecarga producida por el arranque aumenta los calentamientos y las caídas de tensión de las líneas de distribución. El reglamento limita este efecto perjudicial asignando una sobreintensidad máxima transitoria en función de la potencia del motor. Con este objetivo claro, veamos los siguientes conceptos teóricos:

En los motores asíncronos, comprobamos que el par de fuerzas depende directamente del cuadrado de la tensión, e inversamente del cuadrado de la frecuencia:

$$T = T_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 \quad T = T_0 \cdot \left(\frac{f_0}{f} \right)^2$$

donde I_0 , V_0 , f_0 son los valores iniciales de corriente, tensión y frecuencia.

Ejercicio 1: Calcula para un motor asíncrono trifásico de 3KW/400V/50Hz/FP=0,8/I=7,2A/1420rpm/ η =75% en estrella,
a) la potencia y corriente nominal a 230V
b) la potencia y corriente nominal a 60Hz

Sol: primero calculamos el par nominal como $T = 3000 \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 1420} = 20,17 \text{ N}\cdot\text{m}$.

Si le aplicamos 230V en vez de 400, calculamos el nuevo par nominal del motor es

$$T = T_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 = 20,17 \cdot \left(\frac{230}{400} \right)^2 = 20,17 \cdot (1/3) = 6,72 \text{ N}\cdot\text{m}, \text{ su nueva potencia es}$$

$$P = \frac{P_0}{3} = 1 \text{ KW}, \text{ y su corriente } I = \frac{1000}{0,75 \cdot \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,8} = 4,2 \text{ A}$$

$$\text{Si le aplicamos 60Hz, el nuevo par sería } T = T_0 \cdot \left(\frac{f_0}{f} \right)^2 = 20,17 \cdot \left(\frac{50}{60} \right)^2 = 14 \text{ N}\cdot\text{m}, \text{ su}$$

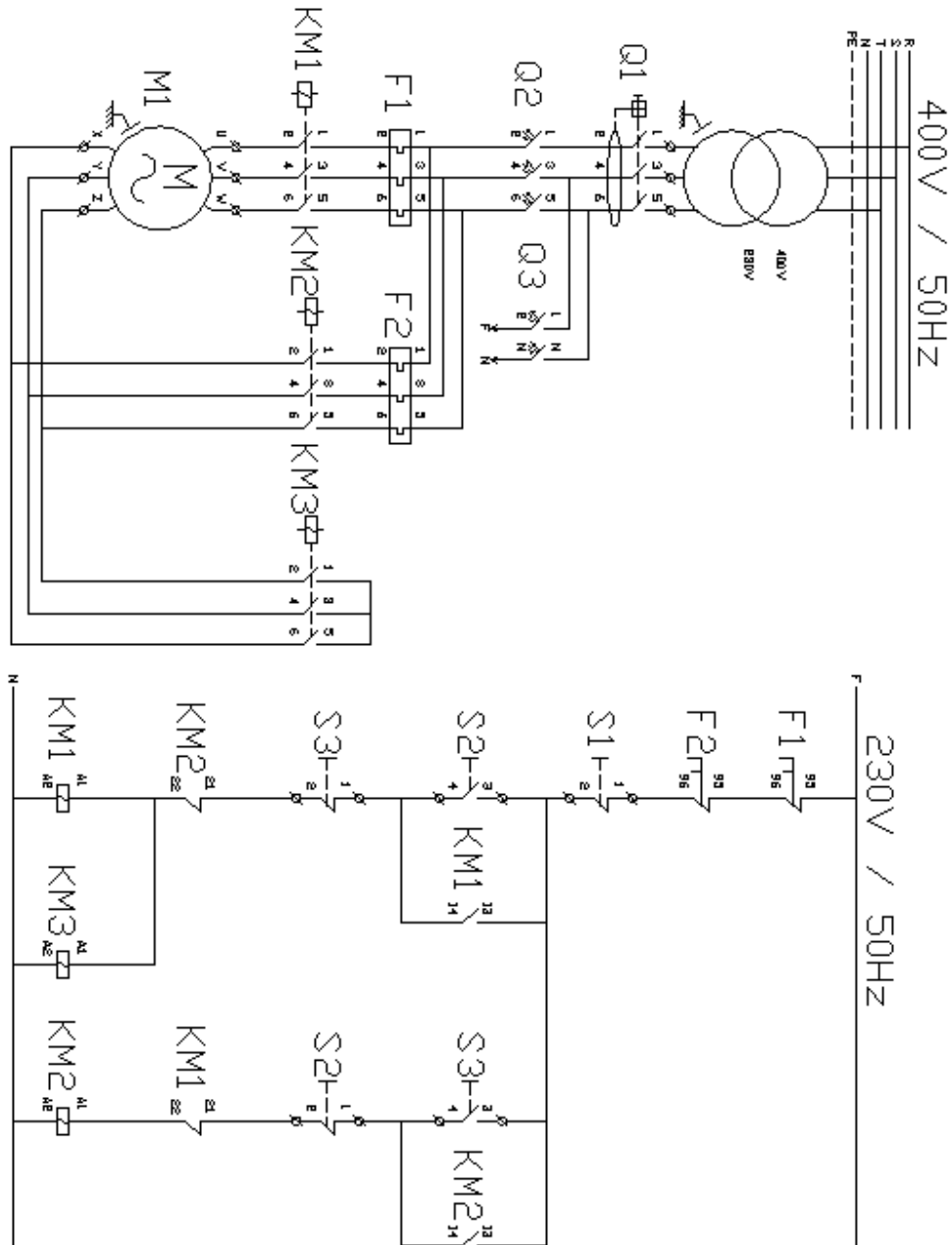
$$\text{nueva potencia es } P = T \cdot n \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} = 14 \cdot 1420 \cdot \left(\frac{60}{50} \right) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{60} = 2,498 \text{ KW}, \text{ y su corriente}$$

$$I = \frac{2498}{0,75 \cdot \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 6 \text{ A}$$

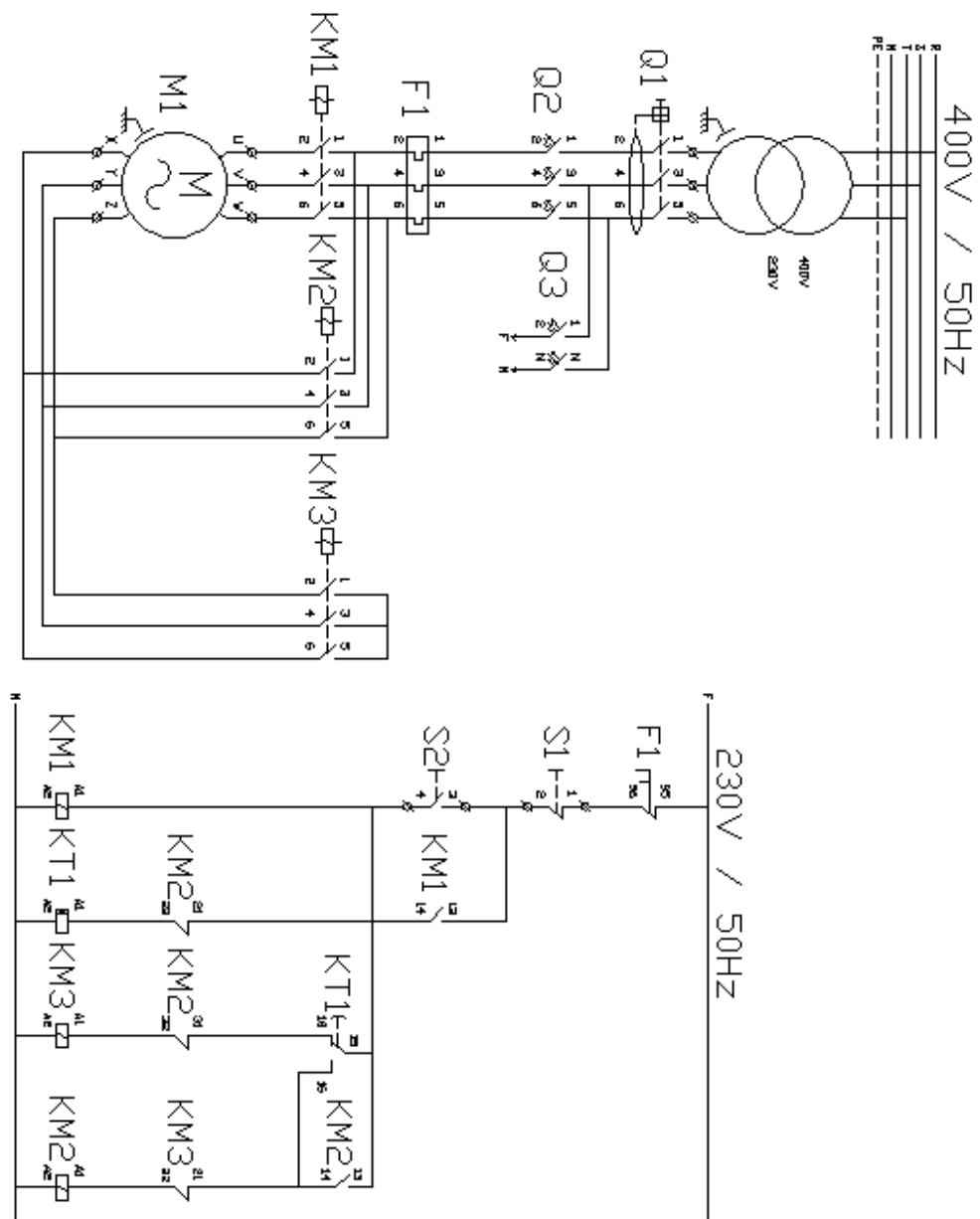
Para cumplir con la limitación de sobrecarga utilizaremos los siguientes métodos de arranque:

- **Arranque directo:** le aplicamos directamente toda la tensión de la red. Válido con motores inferiores a 5,5KW.
- Con **resistencia estáticas:** intercalado en serie una o varias resistencias antes del motor, se disminuye la tensión que le aplicamos al estator, y por tanto la punta de arranque. Conforme adquiere velocidad, desconectaremos estas resistencias.
- Con **autotransformador:** mediante un autotransformador reducimos la tensión de red durante el arranque, para luego aplicarla toda la tensión. Estos dos últimos métodos están en desuso frente a los dos siguientes.
- **Arranque estrella-triángulo:** Jugando con las dos formas de conexión posibles de un motor, primero arrancamos el motor con tensión reducida (estrella) y luego con tensión elevada (triángulo). Al ser la tensión inicial $\sqrt{3}$ veces menor, la potencia desarrollada es 3 veces menor, y por tanto su intensidad.
- **Arrancador estático:** mediante un convertidor electrónico de frecuencia, aplicamos una tensión-frecuencia creciente (rampa de aceleración) hasta su valor nominal. También permite aplicarle rampa de deceleración, o inyectarle corriente continua para su bloqueo.

PRÁCTICA 4: MOTOR DE DAHLANDER DE DOS VELOCIDADES.



PRÁCTICA 5: ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO.



M.5 MOTORES ASÍNCRONOS MONOFÁSICOS

Los motores asíncronos pueden estar preparados para ser alimentados mediante una red trifásica, como hemos visto en capítulos anteriores, o mediante una red monofásica.

Este tipo de motores presentan unos rendimientos, factores de potencia y pares de arranque inferiores a los trifásicos, por lo que su uso está restringido a instalaciones domésticas, o pequeñas instalaciones monofásicas.

Internamente están compuestos por un estator similar al del motor trifásico, pero con un solo bobinado (para sólo una fase), y un rotor de jaula de ardilla. Si observamos la figura 6 del capítulo M.2 comprobamos que un solo bobinado no puede crear un flujo magnético rotatorio. Es decir, que si introducimos un rotor en su interior, no producirá ningún tipo de fuerza. Sin embargo, si éste mismo rotor estuviera girando, sí que aparecería un par de fuerzas que mantendría el giro del motor. En resumidas cuentas, que necesita un mecanismo de arranque para que pueda funcionar.

Una vez el motor monofásico ha arrancado, se comporta muy similar al motor trifásico. Su velocidad de asincronismo es ligeramente inferior a la frecuencia de red, puede estar constituido por uno varios pares de polos (2 es lo más frecuente), y su curva par motor se asemeja a la del motor trifásico.

Los métodos de arranque más frecuentes son:

- Espira de sombra: Colocando una pequeña bobina de arranque en cortocircuito y desfasada un pequeño ángulo con el bobinado principal o de trabajo, se consigue desfasar ligeramente el flujo magnético, creando un pequeño par de arranque. Su aplicación se limita a pequeñas potencias (200W) y cargas ligeras (ventiladores ...).
- Fase partida: Alojado en el estator, y desfasado 90° eléctricos con el bobinado principal, encontramos el bobinado auxiliar. Este bobinado tiene una auto-inductancia menor que el bobinado principal, de forma que al conectar ambos bobinados a la red monofásica, los flujos creados están un poco desfasados, creando un par de fuerzas de arranque. Una vez arrancado, este bobinado se puede desconectar mediante un interruptor centrífugo, o similar, para evitar que entorpezca el correcto funcionamiento del motor en movimiento. Se utiliza para cargas un poco más elevadas (compresores ...)
- Fase partida con condensador: Para conseguir un par de fuerzas más elevado colocamos en serie con el bobinado auxiliar un condensador de arranque. Se aplica a cargas altas (bombas de agua, tracción, ...)

La inversión giro de los motores monofásicos de fase partida se realiza invirtiendo la polaridad de uno de los bobinados. (fig. 11)

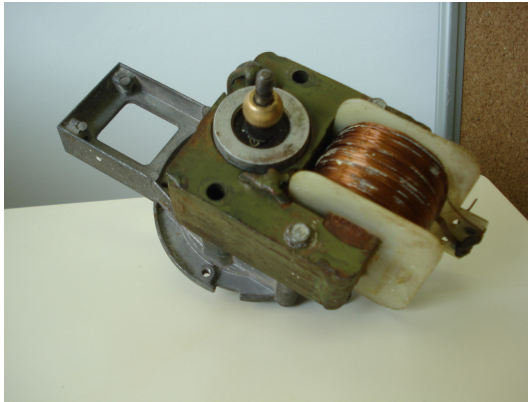


Fig. 10: Motor de espira de sombra



Fig. 11: Motor de fase partida con condensador

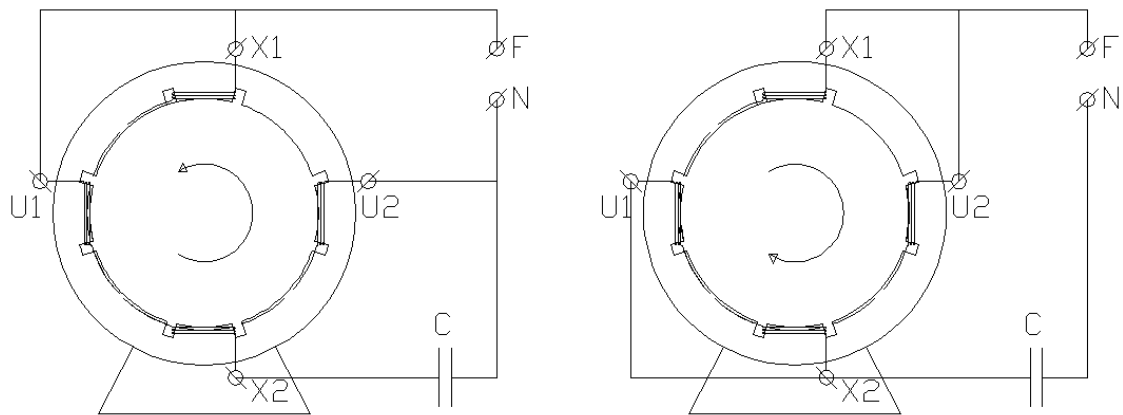


Fig. 11: Inversión de giro de motores monofásicos de fase partida

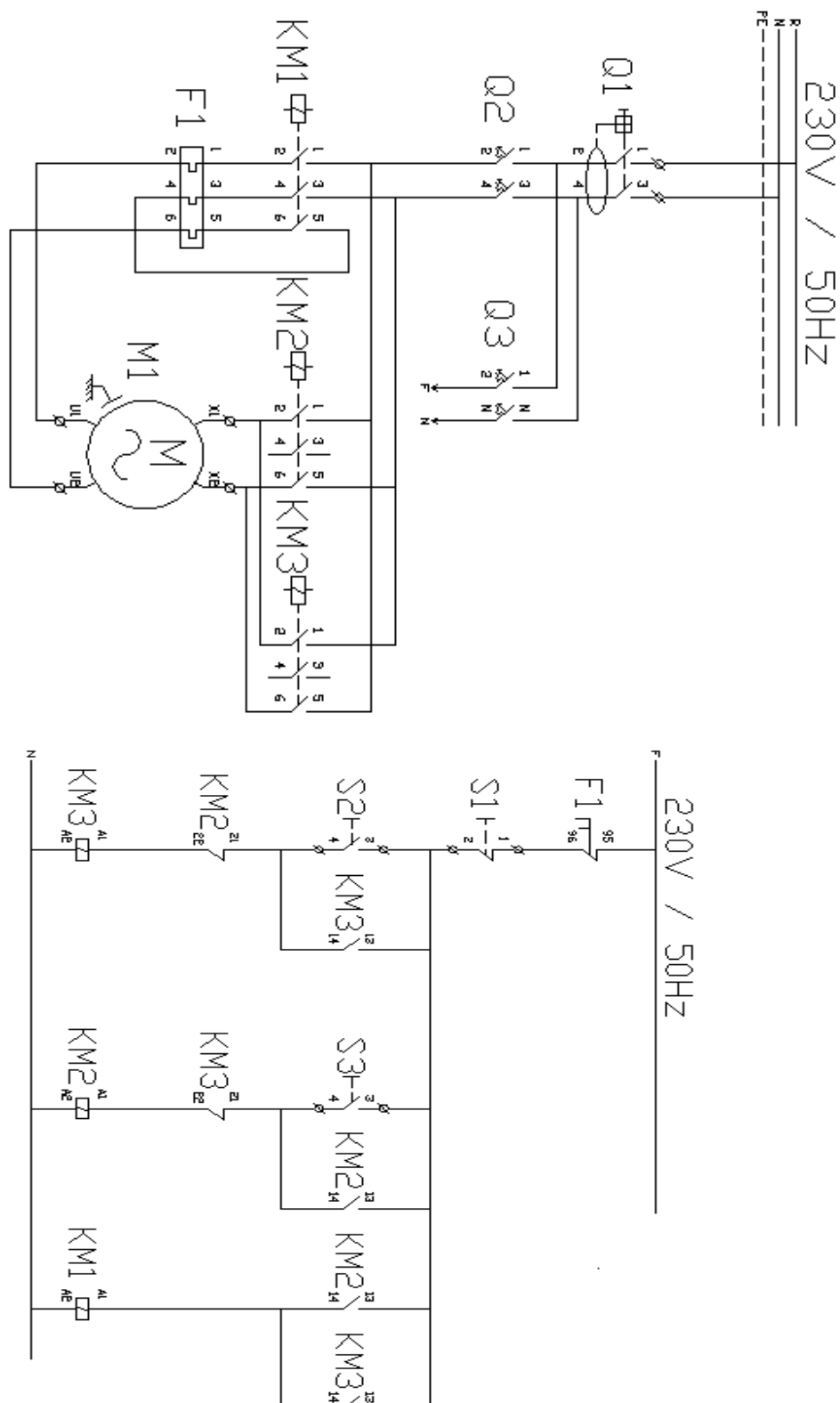
Una alternativa posible cuando nos encontramos un motor trifásico pequeño (hasta 2KW) pero sólo disponemos de red monofásica es utilizar **un motor trifásico como monofásico**. Esto se puede realizar alimentando dos bobinados con fase y neutro, y el tercer bobinado trifásico con un condensador en serie a la fase o al neutro. El condensador será el encargado de realizar el desfase necesario para crear el campo magnético rotatorio. De esta forma, el motor reduce su potencia en un tercio. La capacidad del condensador requerida la obtendremos aproximadamente como:

$$C = 50 \cdot P$$

estando la capacidad en μF , y la potencia en Kw.

Otros motores encontrados en redes monofásicas es el **motor universal**. Llamado así por poderse conectar tanto a corriente continua como alterna. Su principal ventaja es que como los motores de continua, se puede regular su su velocidad aplicándole más o menos tensión al motor. Y su principal inconveniente, también como los motores de corriente continua, son las escobillas, como veremos en el siguiente capítulo. Se aplican en lavadoras, taladradoras, trituradoras,...

PRÁCTICA 6: INVERSIÓN DE GIRO DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA.



M.6 MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Los motores de corriente continua son unos motores ampliamente utilizados en aplicaciones donde necesitábamos una regulación de par o velocidad, aunque ahora están en desuso, desplazados por los motores asíncronos con variador o por los motores síncronos de imán permanente.

Internamente están constituidos por un estator bobinado con un par de polos (**bobinado inductor**), y un rotor bobinado (**bobinado inducido**), alimentando ambos con corriente continua. Para alimentar al rotor necesitamos de un **colector de delgas**, compuesto por unas escobillas rozantes que invierten la polaridad del rotor en cada media vuelta.

El inductor crea un campo magnético uniforme en el rotor, y al circular corriente en el inducido, se crea el par de fuerzas motor. El par de fuerzas tiene una dirección perpendicular al campo magnético, de forma que si no invirtiésemos la polaridad, el motor se pararía tras media vuelta, pero al invertir la polaridad, se invierte el sentido de las fuerzas y éste girará media vuelta más, y así sucesivamente.

En los motores grandes, podemos encontrar en el estator otro bobinado perpendicular al primero (**bobinado auxiliar de conmutación**), que sirve para compensar la reacción del inducido, o sea, el campo magnético creado por el rotor.

El comportamiento de estos motores viene dado simplíficadamente por:

$$V_i = k \cdot n \cdot I_{ex} \quad \text{y} \quad T = k' \cdot I_{ex} \cdot I_i$$

Donde V_i es la tensión en el inducido, n es la velocidad, I_{ex} es la corriente de excitación del inductor, I_i la corriente del inducido y k k' son constantes de proporcionalidad.

Este tipo de motores permiten regular el par de fuerzas y/o la velocidad de giro regulando la tensión del inductor y/o del inducido (regulando la excitación), bien sea mediante un reóstato, o mediante regulación electrónica. Así hablaremos de los siguientes motores de corriente continua en función de la excitación:

- En **derivación, shunt, paralelo o independiente**: regulables en velocidad. Podemos regular la velocidad variando tanto la intensidad de excitación como la tensión del inducido. Si la carga se bloquea o roza mucho, la intensidad se dispara peligrosamente. Se utilizan en máquinas herramientas, ventilación, bombas,... con velocidad constante.
- Excitación en **serie**: regulables en potencia. Al aumentar la potencia demandada, sube la fuerza contra-electromotriz y la tensión V_r , baja la corriente del inducido y el par, y se auto-regula la potencia. Precaución si se queda sin carga, pues se acelera mucho y se embala. Se utiliza en tracción de trenes y tranvías, grúas...
- **Compuesta o compound**: con un bobinado en serie y otro en paralelo. Se obtienen unas características intermedias entre serie y derivación.

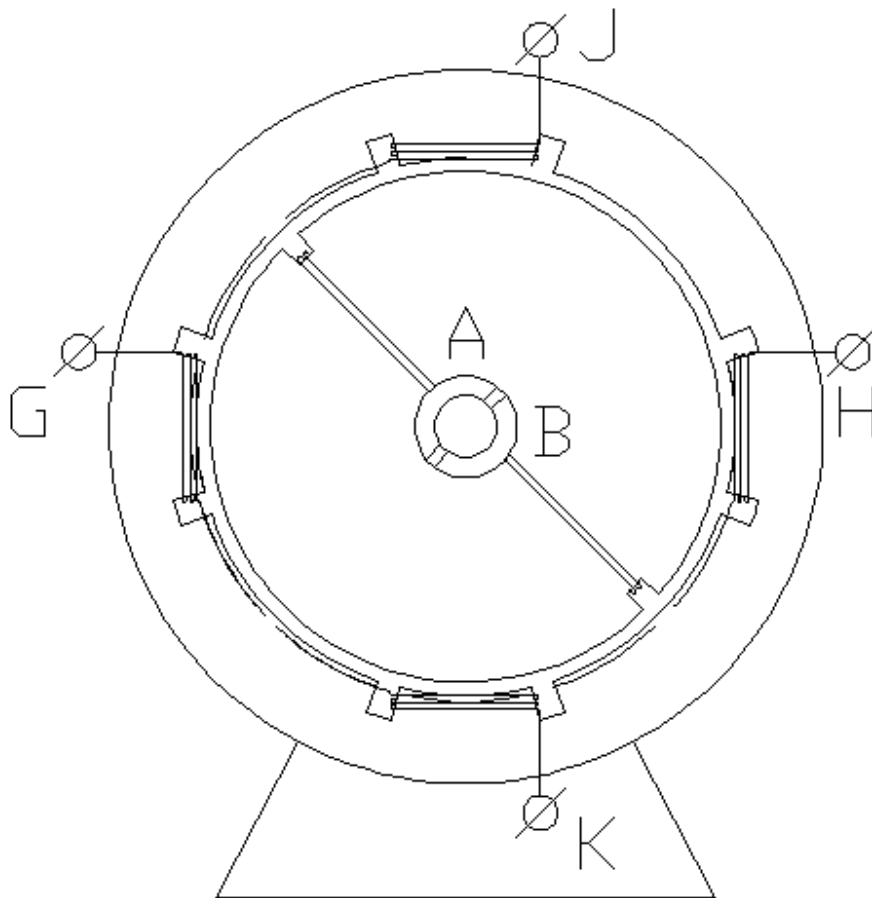


Fig. 12: Estator y rotor de un motor de corriente continua shunt

Inducido	A-B
Excitación en derivación	C-D
Excitación en serie	E-F
Polos de conmutación	G-H
Excitación independiente	J-K

Tabla con la nomenclatura normalizada de las bornas

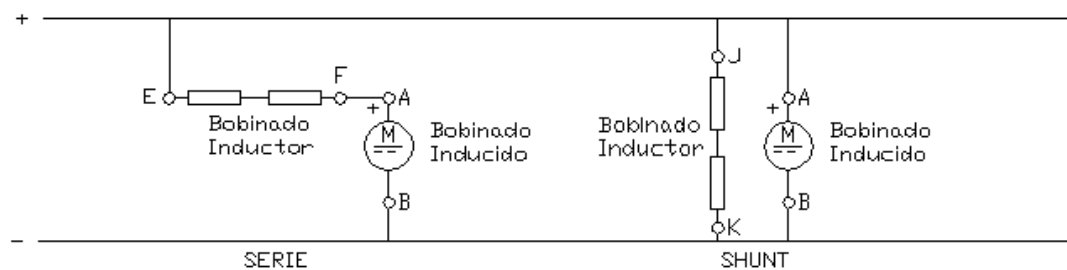


Fig. 13: Conexión de motor serie y paralelo

M.7 MOTORES SÍNCRONOS

Una **máquina síncrona trifásica tradicional** está compuesta por un estator similar al de las máquinas asíncronas, con un múltiplo p de pares de polos desfasados 120° , capaces de crear un campo magnético uniforme rotatorio dentro del mismo. Y en el rotor encontramos unos electroimanes, bien con **polos salientes** o **lisos**. Para alimentar a estos polos magnéticos, introducimos la corriente mediante unos anillos rozantes y **escobillas**. Estos motores necesitan por tanto corriente continua para **excitar el rotor**, bien sea mediante un generador solidario al eje o con una fuente de alimentación externa.

Cómo el rotor está imantado, siempre se posicionará alineado con el campo magnético creado por el estator, y por tanto, su velocidad de giro coincide exactamente con la **velocidad de sincronismo**. Esta es la característica fundamental de este tipo de motores. Se entiende claramente que estos motores no pueden arrancar directamente en carga, como los motores de inducción. Se limita su uso en aplicaciones de gran potencia.

Regulando la excitación del rotor regulamos la fuerza contra-electromotriz del estator y el desfase entre la corriente y la tensión, es decir, el **factor de potencia** del motor. Estos motores pueden incluso trabajar como cargas capacitivas, al sobreexcitarlos.

Actualmente, gracias al desarrollo de nuevos materiales altamente ferro-magnéticos, encontramos los motores síncronos de **imán permanente**, o motores **brushless**. Alimentando estos motores con un variador de frecuencia, conseguimos un motor de altas prestaciones de velocidad y posicionamiento. A esto le añadimos un sensor de posición (encoder) o de velocidad (tacómetro o resolver) en bucle cerrado y obtenemos un conjunto de alta precisión. Al conjunto motor-variador-encoder/resolver lo llamamos **servomotor**.

Así como el conjunto motor de inducción-variador ha desplazado al motor de continua para aplicaciones generales de velocidad variable, el servomotor brushless está desplazando al servomotor de corriente continua.

Un tipo especial de motor de imán permanente es el **motor paso a paso** (PaP). Estos motores trabajan en bucle abierto (no tienen sensores de posición/velocidad), y son alimentados en corriente continua. Cada vez que se cambia la polaridad del motor, éste avanza una fracción definida de vuelta (1.8° , 3.6° , 7.5° , 11.25° , 15° , 18° , 45° o 90°). Así mediante un generador de pulsos (microprocesador) regulamos el posicionamiento del motor. Se utiliza en impresoras, robótica en general,... No están diseñados para trabajar en régimen permanente.