



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MISIONES



FACULTAD
DE INGENIERÍA
UNaM

2024 - año de la defensa de la vida, la libertad y la propiedad

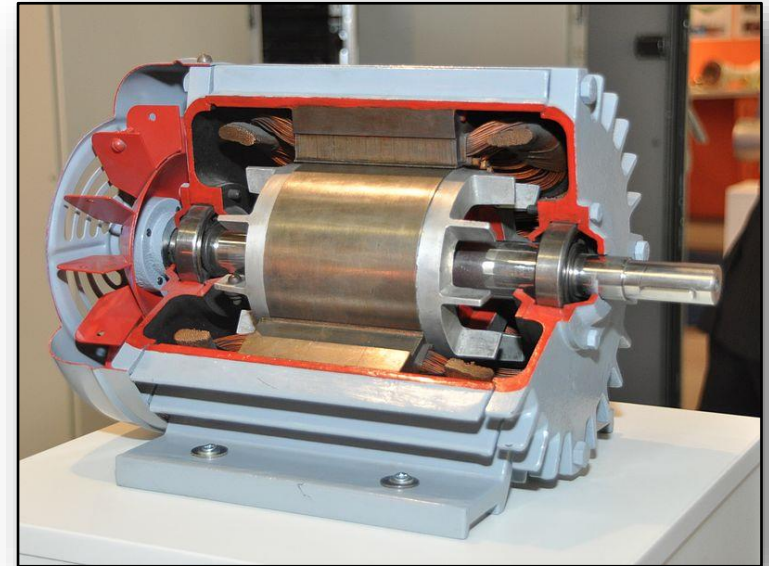
ACTUADORES ELECTROMECAÑICOS

INGENIERÍA EN MECATRÓNICA



MOTOR ELÉCTRICO

- El **motor eléctrico** es un dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un **estator** y un **rotor**.



MOTOR ELÉCTRICO

- Son utilizados en infinidad de sectores tales como instalaciones industriales, comerciales y particulares. Su uso está generalizado en ventiladores, bombas, electrodomésticos, esmeriles, angulares y otras herramientas eléctricas, etc.



MOTOR ELÉCTRICO

- Los motores eléctricos pueden ser impulsados por fuentes de corriente continua (DC), y por fuentes de corriente alterna (AC).



MOTOR ELÉCTRICO

Los motores CC ofrecen amplias ventajas:

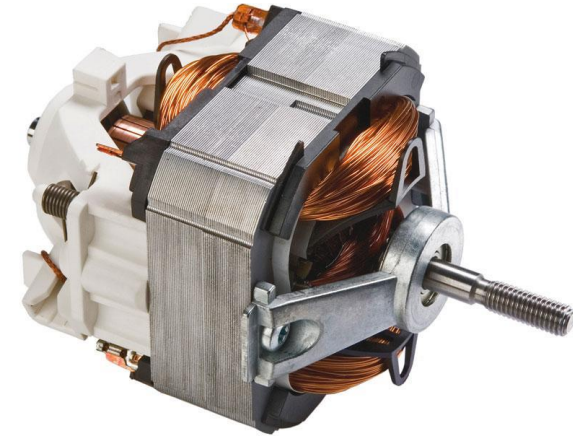
- Gran gama de velocidades.
- Fácil control de velocidad.
- Gran rendimiento dentro del gran margen de velocidad.
- Facilidad de inversión de giro con altas cargas.
- Son capaces de actuar de modo reversible, devolviendo energía a la línea durante los tiempos de frenado y reducción de velocidad.



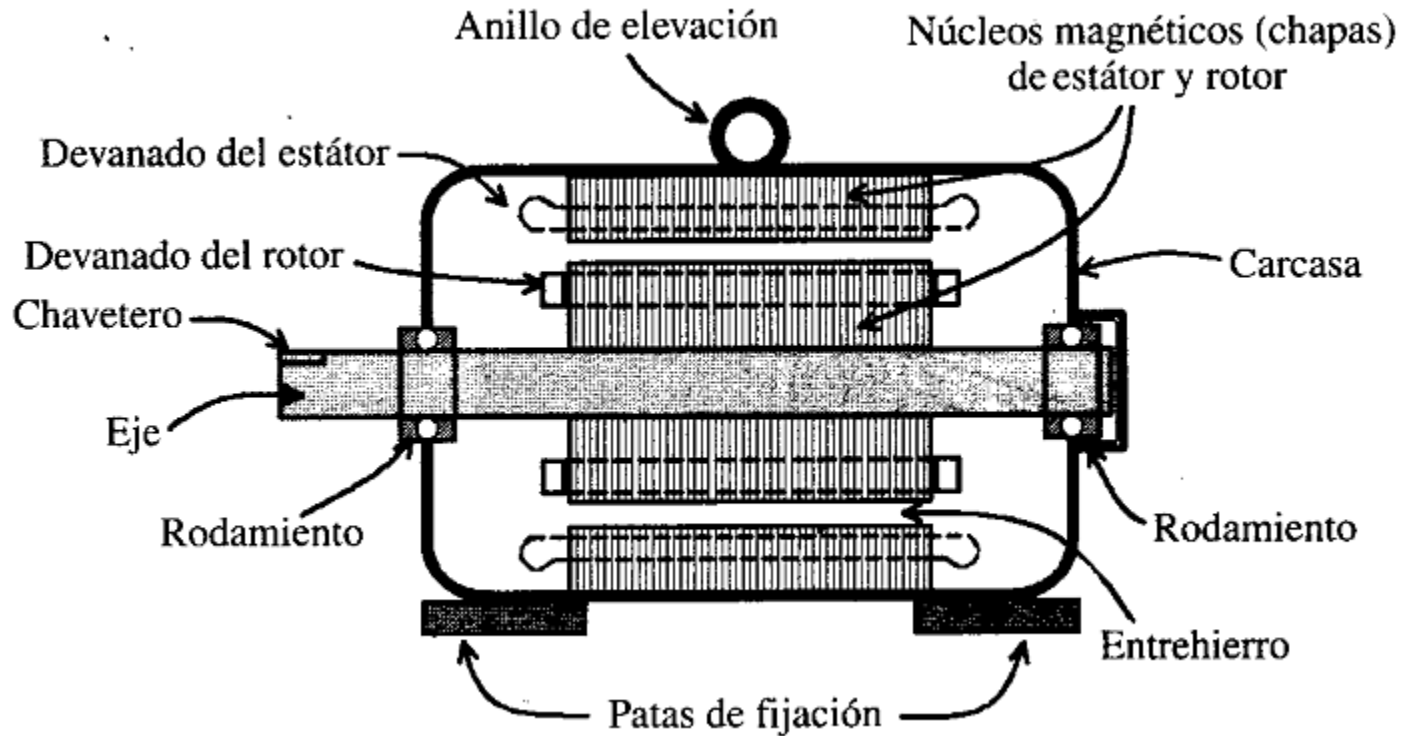
MOTOR ELÉCTRICO

Motores AC

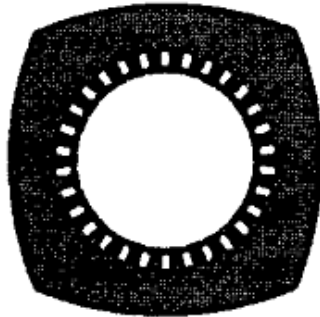
Motor Universal
Motor Asíncrono
Motor Síncrono



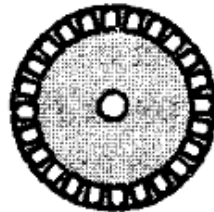
MOTOR ELÉCTRICO



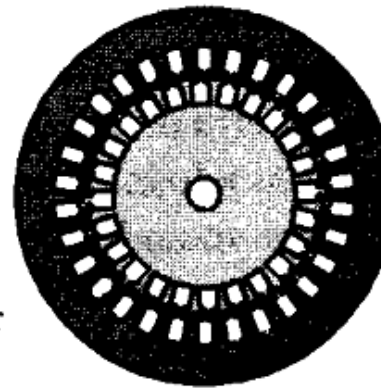
MOTOR ELÉCTRICO



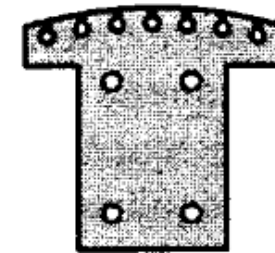
Chapa de estator



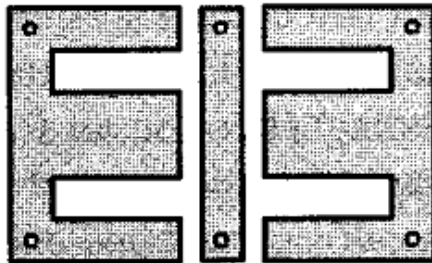
Chapa de rotor



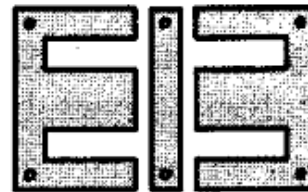
Chapas de estator y rotor



Pieza polar del rotor



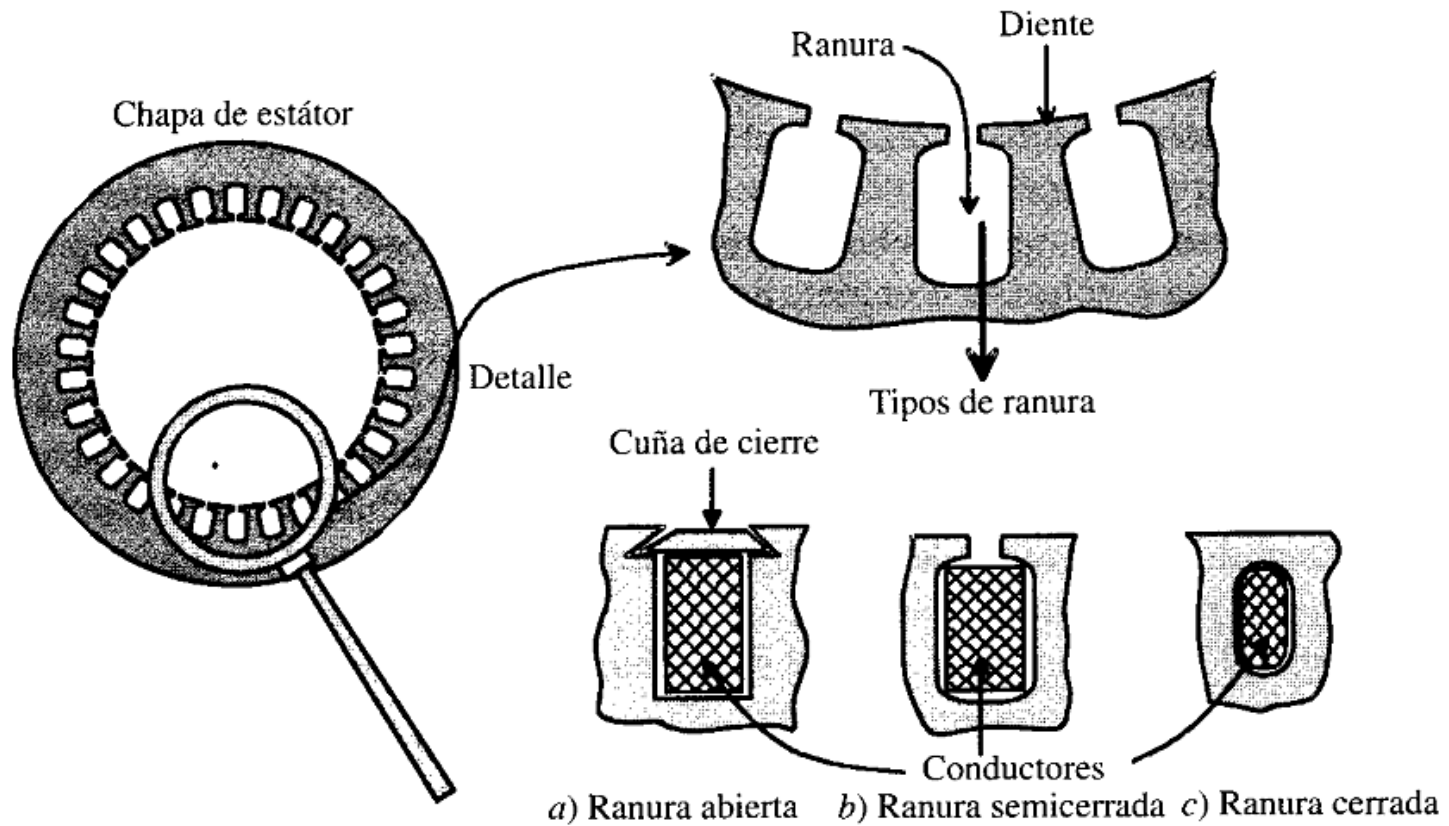
Chapas de transformadores



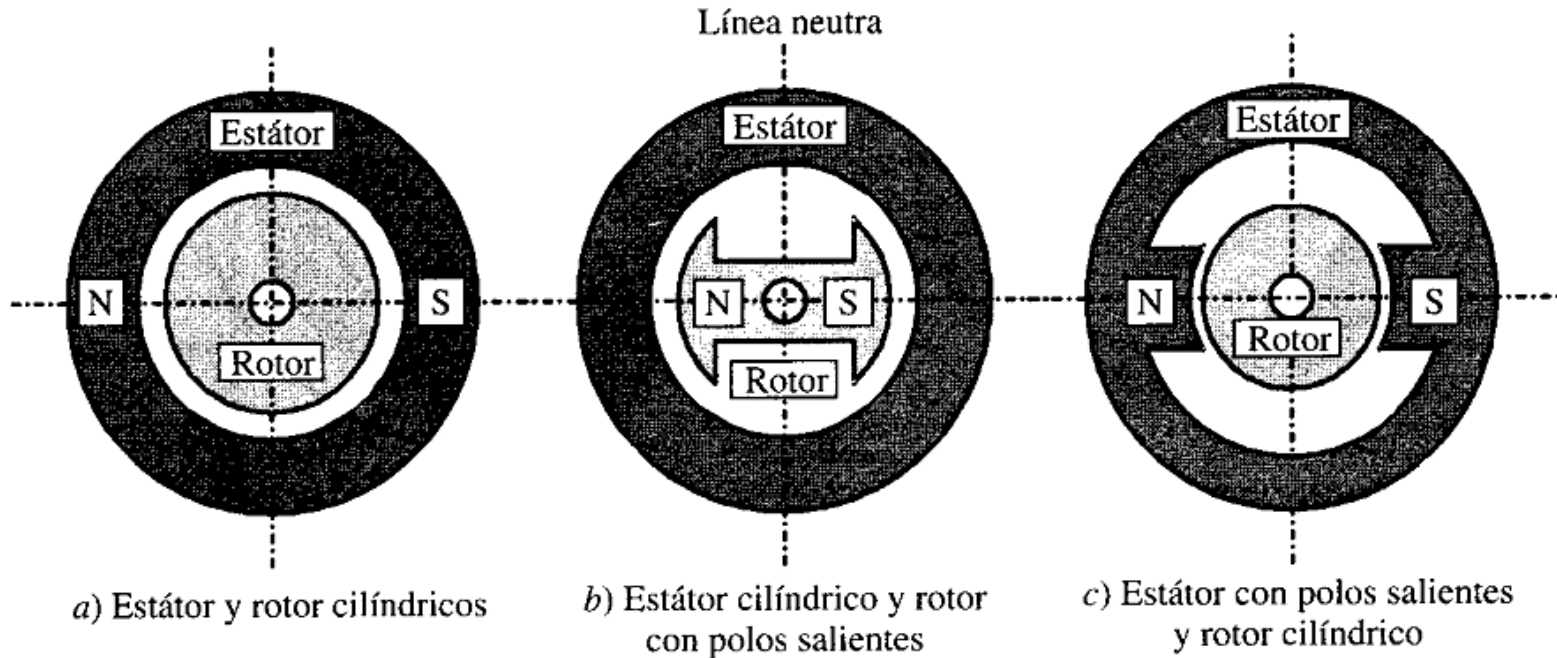
Pieza polar del estator



MOTOR ELÉCTRICO

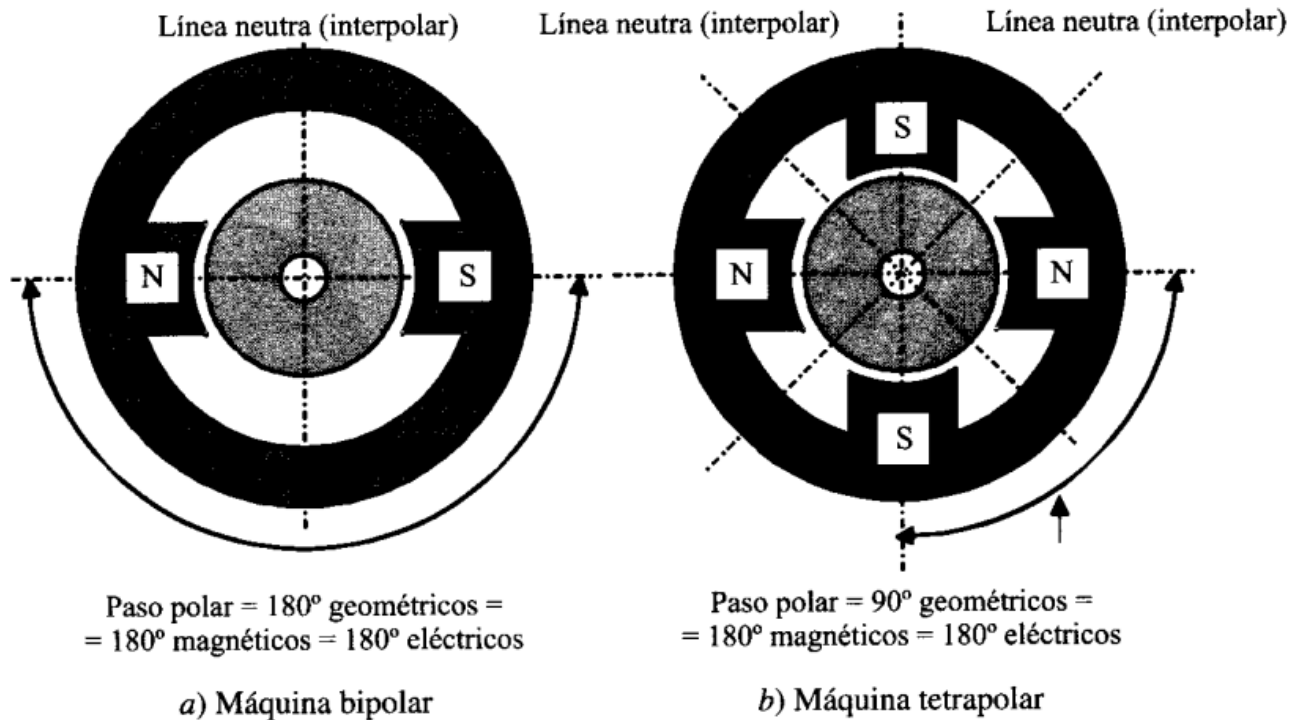


MOTOR ELÉCTRICO



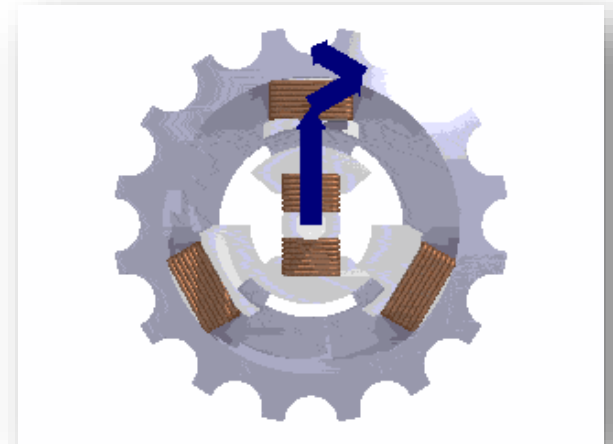
MOTOR ELÉCTRICO

$$\theta = p \cdot \alpha$$



MOTOR ASÍNCRONO

- El motor **asíncrono** es aquel donde la velocidad de giro del rotor no es la misma que la velocidad de sincronismo de la red que los alimenta. El llamado motor de **inducción** se debe a que la corriente que circula por sus devanados (rotor) generan una fem inducida por la acción del flujo sobre el otro devanado (estator).



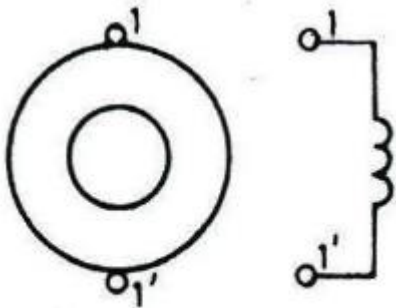
MOTOR ASÍNCRONO

- Los motores asíncronos se pueden clasificar de la siguiente manera:
- Según el numero de bobinas en el estator:

Monofásicos



Tienen un sólo devanado en el estator. Se utilizan en aplicaciones tanto en el hogar como en la industria



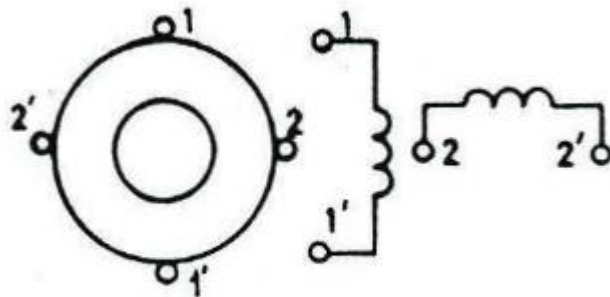
DEVANADO MONOFASICO



MOTOR ASÍNCRONO

Bifásicos

Tienen dos devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $\pi/(2P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones de control de posición.



DEVANADO BIFASICO

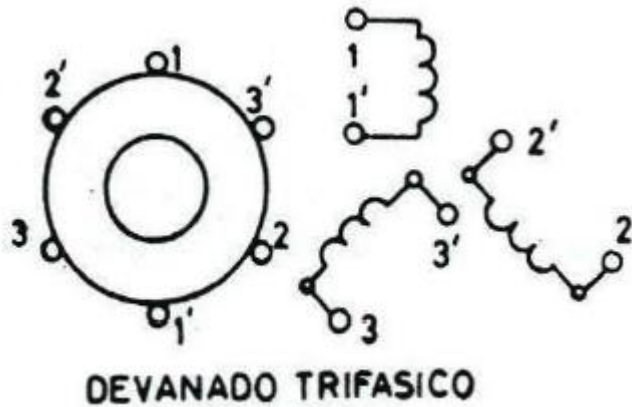


MOTOR ASÍNCRONO

Trifásicos



Tienen tres devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $2 \cdot \pi / (3P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina, en el espacio. Se suelen utilizar en aplicaciones industriales.



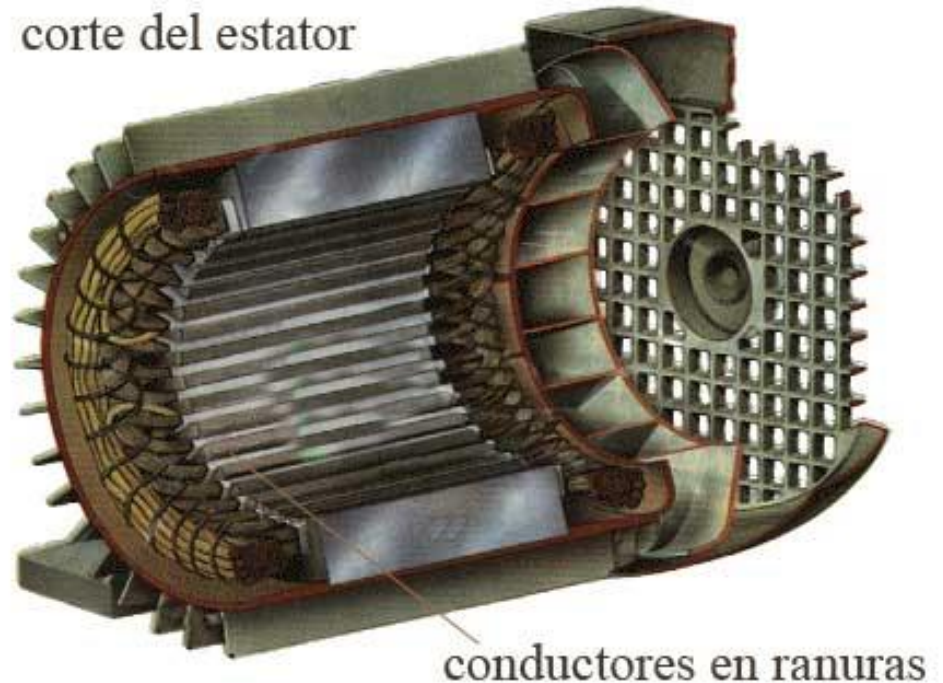
DEVANADO TRIFASICO



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Aspectos constructivos:

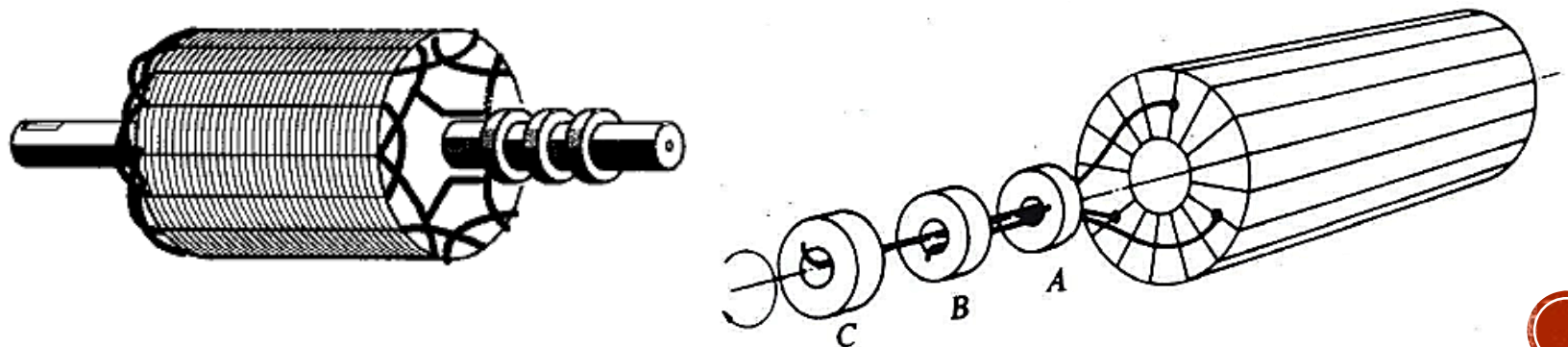
- **Estator:** esta formado por un apilamiento de chapas que disponen de ranuras en su periferia interior en la que se sitúa el bobinado trifásico distribuido.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

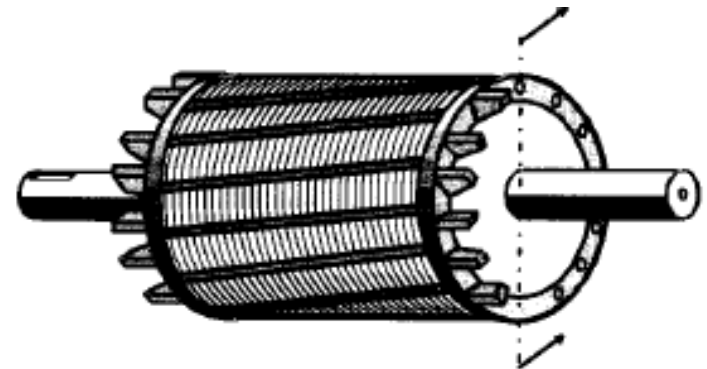
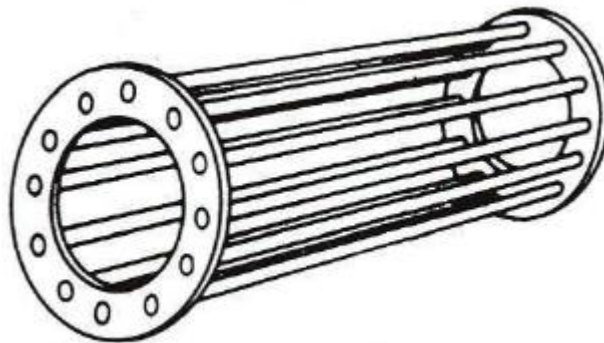
Según el tipo de rotor (inducido):

- **Rotor devanado o con anillos:** los devanados del rotor son similares a los del estator, donde las tres fases se conectan por un lado en estrella y por el otro se envían a unos anillos aislados entre si. Esta disposición nos permite conectar resistencias externas por los anillos para limitar las corrientes de arranque



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

- **Rotor en Jaula de ardilla o en cortocircuito:** en este caso los conductores están igualmente distribuidos por la periferia del rotor. Los extremos de estos están cortocircuitados, por lo tanto no hay posibilidad de una conexión en el exterior, como en el caso del rotor devanado.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

- **Rotor:** en este caso también el rotor está formado por un conjunto de chapas apiladas, formando un cilindro, que tienen ranuras en su periferia exterior donde se coloca el bobinado. Para el caso de los tipos de rotores su configuración será distinta.

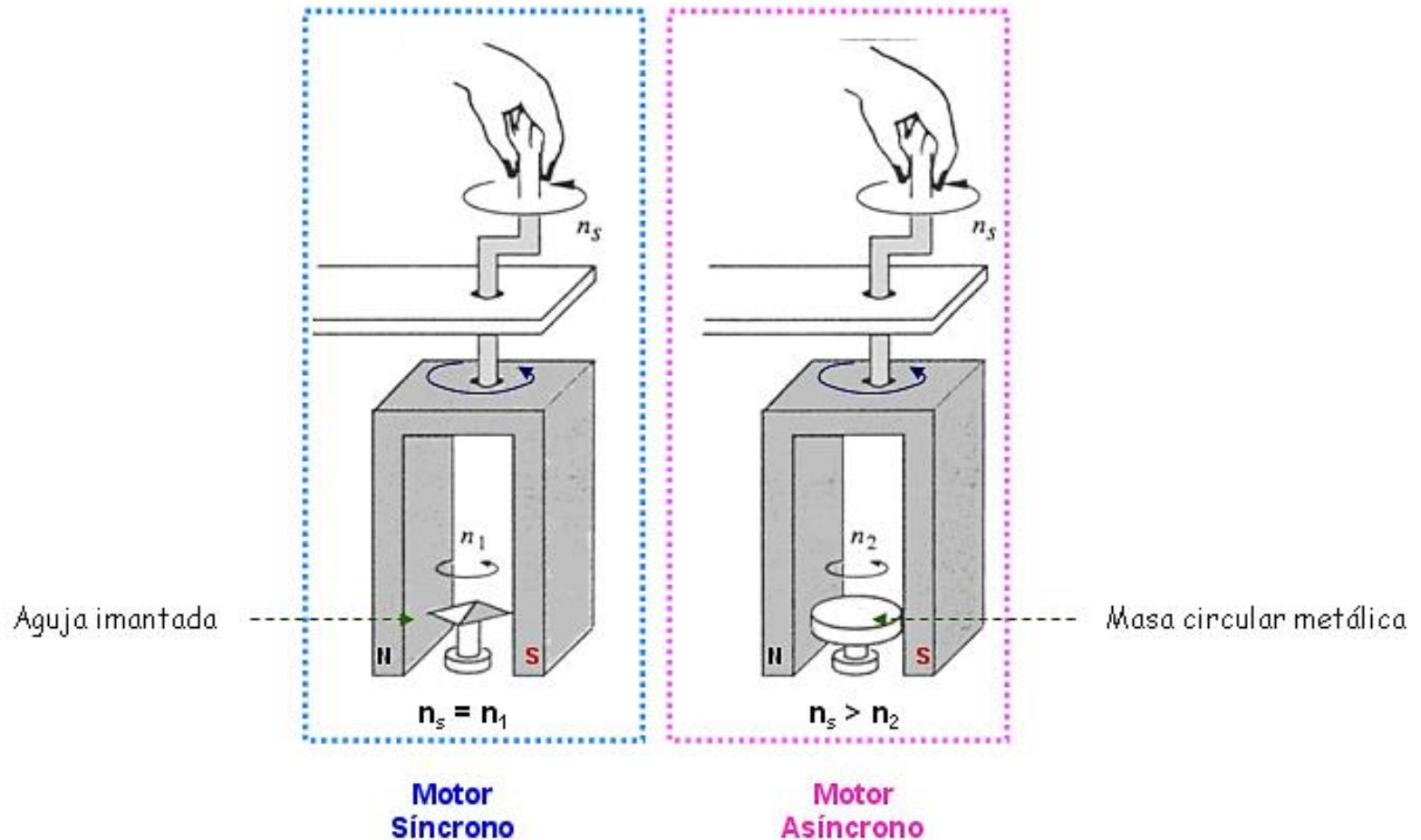


MOTOR ASICRONICO TRIFASICO

- **Principio de funcionamiento del motor asincrónico:** si hacemos girar un imán en forma de U a la velocidad n_s alrededor de una aguja imantada esta girara a una velocidad n_1 igual a n_s .
- Pero si hacemos girar el imán alrededor de una masa circular metálica esta girara a una velocidad n_2 menor a la velocidad n_s .



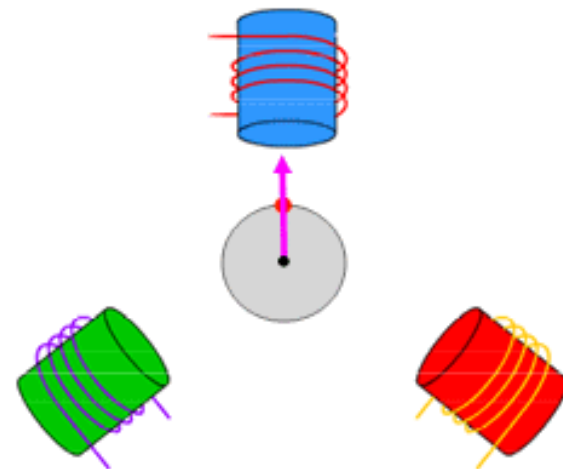
MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

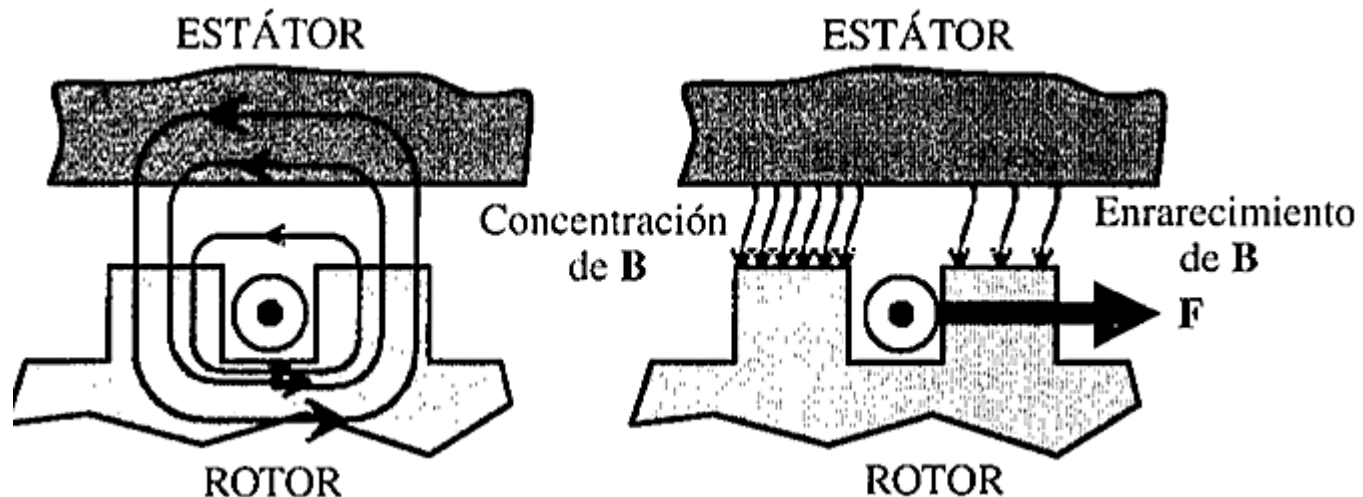
- El devanado del estator esta construido por tres arrollamientos desfasados 120° en el espacio de $2p$ polos; si se inyecta una corriente trifásica de frecuencia f_1 , se produce un flujo rotatorio (debido a f.m.m. distribuida senoidalmente en el entrehierro) cuya velocidad, llamada sincronismo, viene dada por:

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} \text{ (rpm)}$$



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

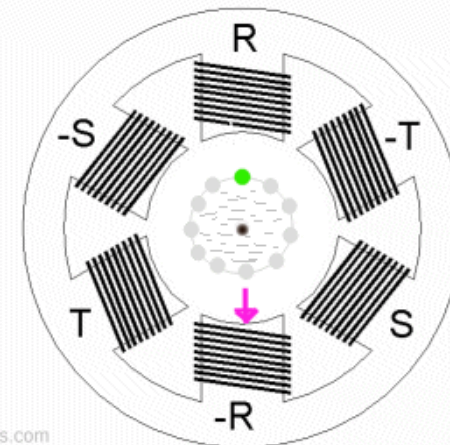
- La fuerza resultante F actúa sobre el diente donde se encuentra ubicado el devanado del rotor. El momento de la misma origina un par que hace girar el rotor (siguiendo el campo rotatorio) aproximándose a la velocidad n_1



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

- Por lo tanto, se deduce que el motor gira a una velocidad menor a la del sincronismo ($n > n_1$) es decir, en un régimen *asincrónico*, produciéndose un *deslizamiento*.
- **Deslizamiento (s):** equivale a la relación entre la velocidad de giro del rotor y la velocidad de giro del campo magnético giratorio dado por la red de alimentación en el estator.

$$s = \frac{(n_1 - n)}{n_1}$$



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

- **Condición constructiva necesaria de funcionamiento:**
- La f.m.m. del estator y la f.m.m. del rotor debe estar enclavadas sincrónicamente, es decir, que el número de polos de ambos arrollamientos deben ser iguales.
- Sin embargo no es necesario que tengan el mismo número de fases.
- En un jaula e ardilla tendremos m_2 fases de 1 espira/fase. Siendo $m_2 = \frac{B}{2p}$, donde B es la barra del rotor.
- En un rotor bobinado generalmente tenemos 3 fases con N_2 espiras por fase.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

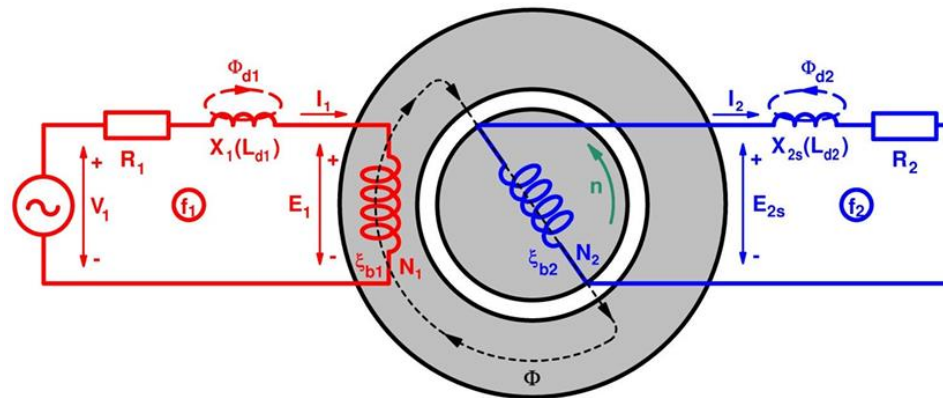
Circuito equivalente eléctrico:

- **Consideraciones:**
- El circuito equivalente es análogo al circuito equivalente de un transformador.
- El primario será el estator y el secundario el rotor.
- El circuito se desarrollara por fase del motor.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Circuito equivalente eléctrico:



En reposo:

$$X_1 = L_1 \omega_1 = 2\pi f_1; X_2 = L_2 \omega_2 = 2\pi f_1;$$

Rotor girando:

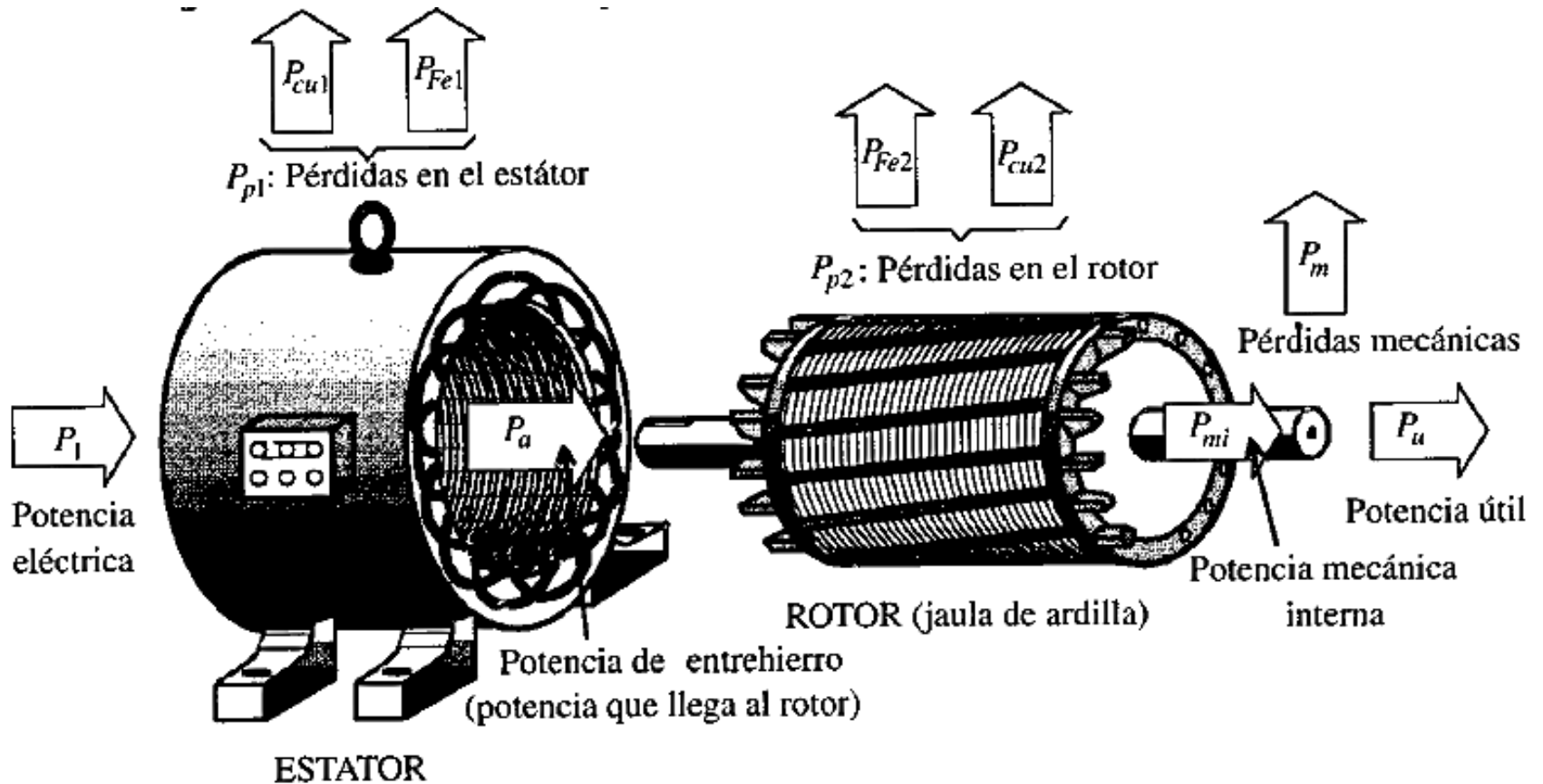
$$X_{2s} = L_2 \omega_2 = 2\pi f_2;$$

Circuito equivalente (ecuación vectorial):

$$V_1 = E_1 + R_1 I_1 + jX_1 I_1; E_{2s} = R_2 I_2 + jX_{2s} I_2; f_2 = s f_1$$

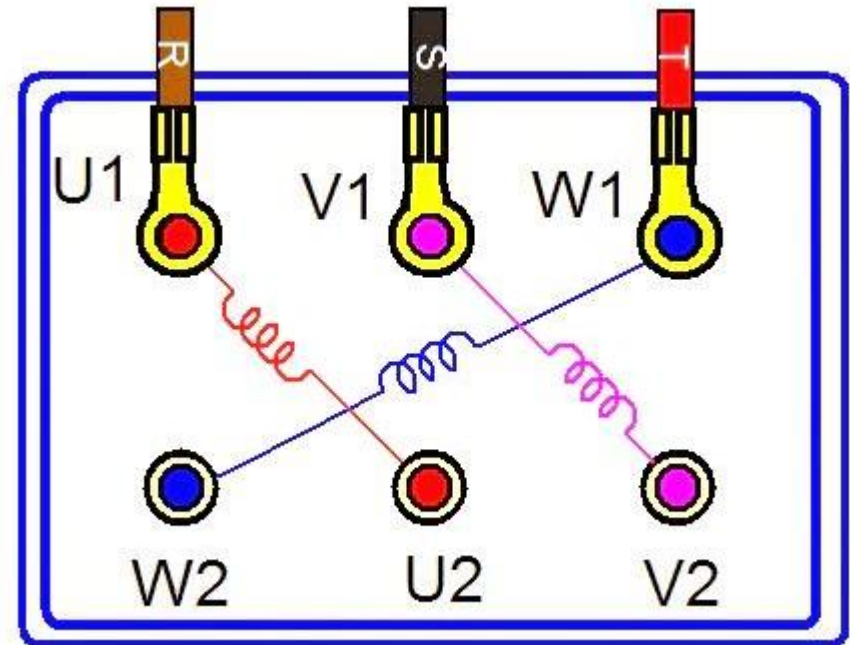


MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO



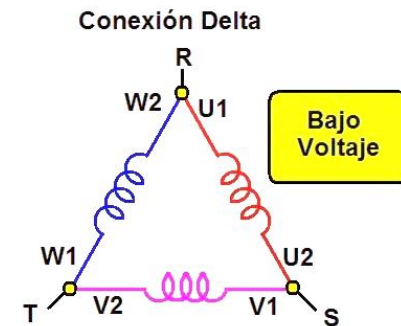
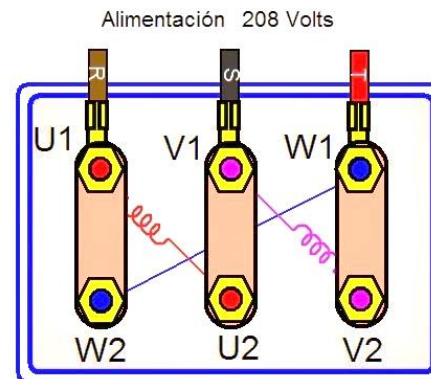
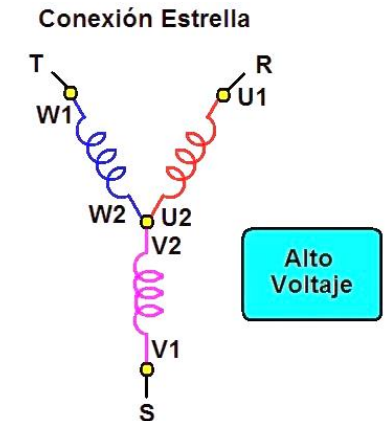
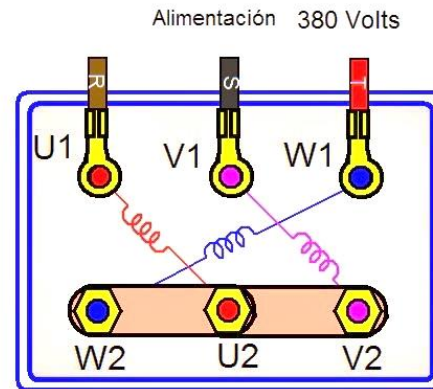
MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

- **Conexión del estator de un motor trifásico (alimentación):** en su caja de bornes vamos a encontrar los terminales de las bobinas del estator, es decir los terminales del principio y fin de cada bobina.



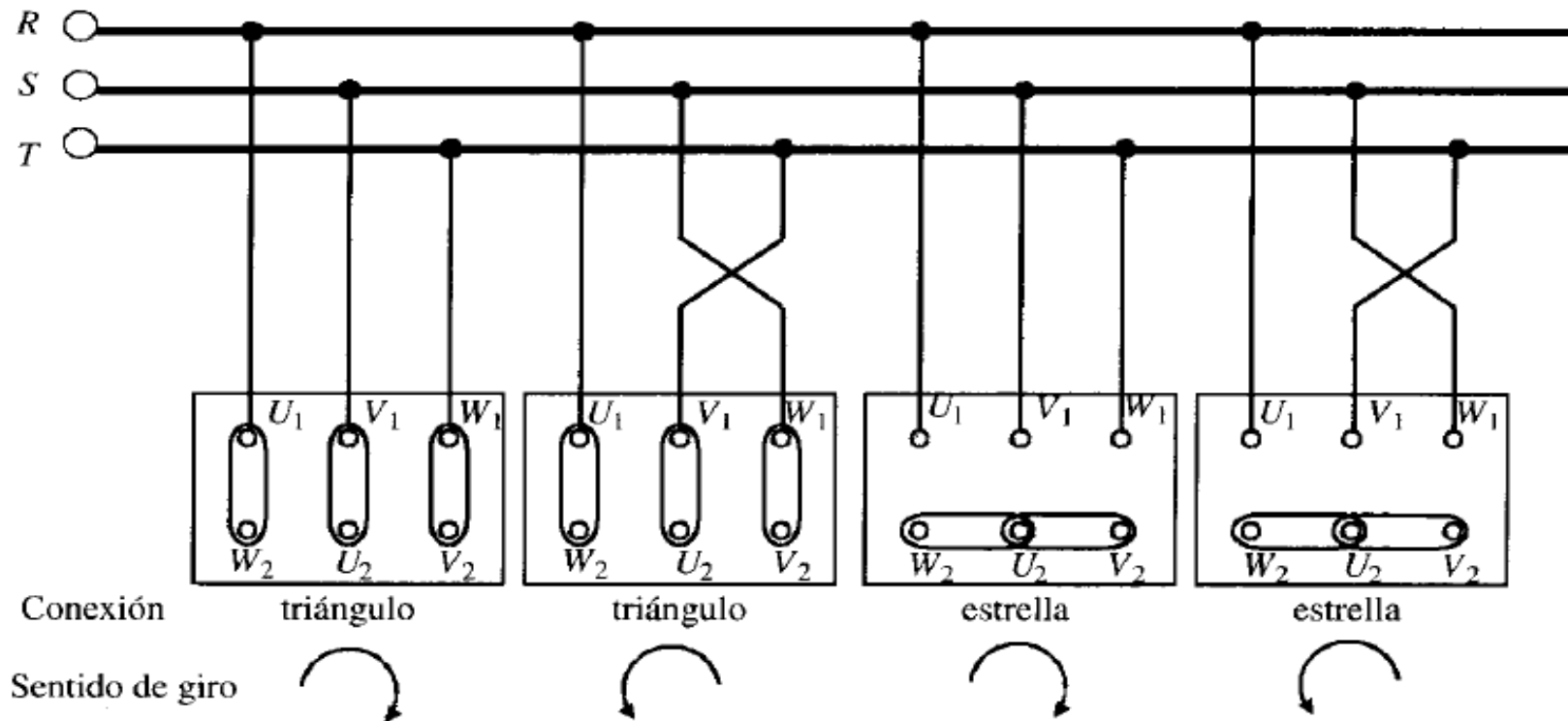
MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

- Las conexiones posibles para el caso anterior serian: **conexión en estrella** y **conexión en triángulo**. Donde la conexión en estrella se emplea para alimentar al motor a la tensión MAS ELEVADA, indicada en su placa característica, y la conexión en triángulo para la tensión MAS BAJA.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

- Para invertir el giro del motor solo basta con intercambiar dos de sus tres cables que se unen a la red de alimentación.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Ejemplo: se tiene un motor asíncrono cuya placa aparecen los valores: 30 CV, 220/380V, 69,2/40 A, 1450 rpm. Se pide:

- a. Realizar la conexión del motor para una red trifásica de 380V.
- b. Realizar la conexión del motor para una red trifásica de 220V.
- c. Que significa 69,2/40 A?
- d. Y las 1450 rpm son las vueltas del motor en vacío o en carga?



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

■ Placa de identificación de un motor

W22 High Eff. IE2 - 93.2 ←5

26 → 03FEV10 000000000 ←31

2 → - 3 kW(HP) 37(50) ←11 FRAME 225S/M ←6

V 380/660 ←3 Hz 50 ←10

A 70.1/40.4 ←13 SF 1.00 ←16

min - 1475 ←12 P.F. 0.86 ←14

DUTY S1 ←4 AMB. 40°C ←15

INS. CL. F ←8 Δt 80 K ←9 CAT ←27 IP55W ←7

Alt 1000 m.a.s.l. ←17 WEIGHT 362 kg ←18

20

19

21

29

30

MADE IN BRAZIL 11198877

- 1 – Código del motor
- 2 – Numero de fases
- 3 – Tensión nominal de operación
- 4 – Régimen de servicio
- 5 – Eficiencia
- 6 – Tamaño de carcasa
- 7 – Grado de protección
- 8 – Clase de Aislamiento
- 9 – Temperatura de la Clase de Aislamiento
- 10 – Frecuencia
- 11 – Potencia nominal del motor
- 12 – Velocidad nominal del motor en RPM
- 13 – Corriente nominal de operación
- 14 – Factor de potencia
- 15 – Temperatura ambiente máxima
- 16 – Factor de servicio
- 17 – Altitud
- 18 – Peso del motor
- 19 – Especificación del rodamiento delantero
- 20 – Especificación del rodamiento trasero
- 21 – Tipo de grasa de los rodamientos
- 22 – Diagrama de conexión para tensión nominal
- 23 – Diagrama de conexión para tensión de arranque
- 24 – Intervalo de lubricación en horas
- 25 – Certificaciones
- 26 – Fecha de fabricación
- 27 – Categoría de par
- 28 – Numero de serie
- 29 – Cantidad de grasa en el rodamiento delantero
- 30 – Cantidad de grasa en el rodamiento trasero



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **La potencia:** es la fuerza que el motor genera para mover una carga a una determinada velocidad. La potencia especificada en placa de los motores indica la potencia mecánica disponible en la punta del eje del motor y va expresada en Kilowatts (KW) y en su equivalente en Caballos de Vapor (HP / CV).
- *La potencia consumida es la misma potencia en el eje?*



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **La velocidad/rotación:** expresada en rpm (revoluciones por minuto), es el número de giros que el eje del motor desarrolla en cada minuto. En los motores de corriente alterna la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación (Hz), dándonos el número de pares de polos del motor.
- Para las frecuencias de 50 Hz y 60 Hz, tenemos:



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- Para las frecuencias de 50 Hz y 60 Hz, tenemos:

| Motor | Rotación sincrónica | |
|---------|---------------------|-----------|
| | 60 Hz | 50 Hz |
| 2 polos | 3.600 rpm | 3.000 rpm |
| 4 polos | 1.800 rpm | 1.500 rpm |
| 6 polos | 1.200 rpm | 1.000 rpm |
| 8 polos | 900 rpm | 750 rpm |



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **La tensión:** la tensión es el voltaje de entrada para el cual está diseñado el motor.
- **Monofásica:** es la tensión medida entre fase y neutro. El motor monofásico normalmente está preparado para ser conectado en la red de 110 V o 220 V. Sin embargo, hay sitios donde la tensión monofásica puede ser 115 V, 230 V o 254 V. En estos casos debe ser aplicado un motor específico para estas tensiones.
- **Trifásica:** Es la tensión medida entre fases. Son los motores más utilizados, pues los motores monofásicos tienen limitación de potencia, y además de esto suministran rendimientos y pares menores, lo que aumenta su costo operacional. Las tensiones trifásicas más utilizadas son 220-230 V, 380-400 V a 50Hz y 440 V a 60Hz



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **La frecuencia:** es el número de veces que un determinado evento se repite en un determinado intervalo de tiempo. La frecuencia de la red de alimentación utilizada en Latinoamérica es 50 Hz o 60 Hz, dependiendo del país. Eso significa que la tensión de la red repite su ciclo sesenta veces por segundo.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **Grado de protección:** Es la protección del motor contra la entrada de cuerpos extraños (polvo, fibras, etc.), contacto accidental y penetración de agua. Así, por ejemplo, un equipamiento a ser instalado en un local sujeto a chorros de agua, debe poseer un envoltorio capaz de soportar tales chorros de agua, bajo determinados valores de presión y ángulo de incidencia, sin que haya penetración que pueda ser perjudicial al funcionamiento del motor. El grado de protección es definido por dos letras (IP) seguido de dos dígitos.
- El primer dígito indica protección contra la entrada de cuerpos extraños y contacto accidental, mientras el segundo dígito indica la protección contra la entrada de agua.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

■ Grado de protección:

| 1° Dígito | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Dígito | Indicación |
| 0 | Sin protección |
| 1 | Protección contra la entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 50 mm |
| 2 | Protección contra la entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 12 mm |
| 3 | Protección contra la entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 2,5 mm |
| 4 | Protección contra la entrada de cuerpos extraños de dimensiones superiores a 1,0 mm |
| 5 | Protección contra la acumulación de polvos perjudiciales al motor |
| 6 | Totalmente protegido contra el polvo |



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

■ Grado de protección:

| 2º Dígito | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Dígito | Indicación |
| 0 | Sin protección |
| 1 | Protección contra gotas de agua en la vertical |
| 2 | Protección contra gotas de agua hasta la inclinación de 15° en relación a vertical |
| 3 | Protección contra agua de lluvia hasta la inclinación de 60° en relación a vertical |
| 4 | Protección contra salpicaduras provenientes de todas direcciones |
| 5 | Protección contra chorros de agua provenientes de todas las direcciones |
| 6 | Protección contra olas de agua |
| 7 | Inmersión temporaria |
| 8 | Inmersión permanente |

MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **La carcasa/tamaño:** dimensiones del motor expresadas a través de valores estándares establecidos por normativas IEC para los motores eléctricos.
- El tamaño de la carcasa es definido por la potencia y rotación del motor y es identificado por la letra H, que va desde la base de soporte del motor hasta el centro del eje, medida en mm.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **Las formas constructivas:** determinan cómo el motor va a ser fijado y acoplado a la carga.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------------|-----------------|--------|----------------|---------|--------------|--------|-----------------|---------|----------------|---------|-----|----|----|
| Forma Constructiva | Configuración | | | | | | | | | | | | | |
| | Referencia | B3R(E) | B3L(D) | B3T | B5R(E) | B5L(D) | B5T | B35R(E) | B35L(D) | B35T | B14R(E) | | | |
| Detalles | Carcasa | Con patas | | Sin patas | | Sin patas | | Con patas | | Sin patas | | | | |
| | Punta del eje | A la izquierda | | A la izquierda | | A la derecha | | A la izquierda | | A la izquierda | | | | |
| | Fijación | Base o carriles | | Brida FF | | Brida FF | | Base o brida FF | | Brida FC | | | | |
| Forma Constructiva | Configuración | | | | | | | | | | | | | |
| | Referencia | B14L(D) | B14T | B34R(E) | B34L(D) | B34T | V5L(D) | V5R(E) | V5T | V6L(D) | V6R(E) | V6T | V1 | V3 |



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **Las clases de aislamiento:** especifican la temperatura de operación de los materiales aislantes utilizados en el devanado del motor. Los motores normalmente son fabricados con clase de aislamiento F, que permite una temperatura máxima de operación de 155° , pero los motores también pueden ser fabricados con clase de aislamiento H, cuya temperatura máxima de operación permitida es de 180° .
- La temperatura de la clase de aislamiento no significa la temperatura ambiente máxima, y sí la máxima temperatura que soportará el aislamiento del motor.



MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO

Algunas características a tener en cuenta para seleccionar un motor

- **La ventilación:** el sistema de ventilación es responsable por la refrigeración del motor. Los motores IP55 (cerrados) son generalmente suministrados con sistema de ventilación ODP ó TCVE. Los motores con grado de protección IP23(abiertos) poseen sistema de ventilación interna.

TCVE



Totalmente cerrado con ventilación externa.

ODP (Abierto)



El aire circula libremente en el motor (ventilación interna).



MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!

Bibliografía y material audiovisual:

- Jesus Fraile Mora. Maquinas Eléctricas. 5ta edición 2003
- <https://www.youtube.com/watch?v=MUNEI1b1F4w>
- <https://www.youtube.com/watch?v=OITDyL6ZPOY>

