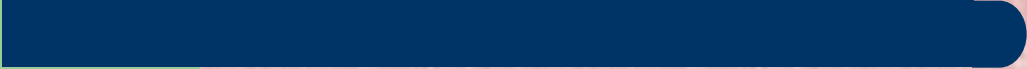


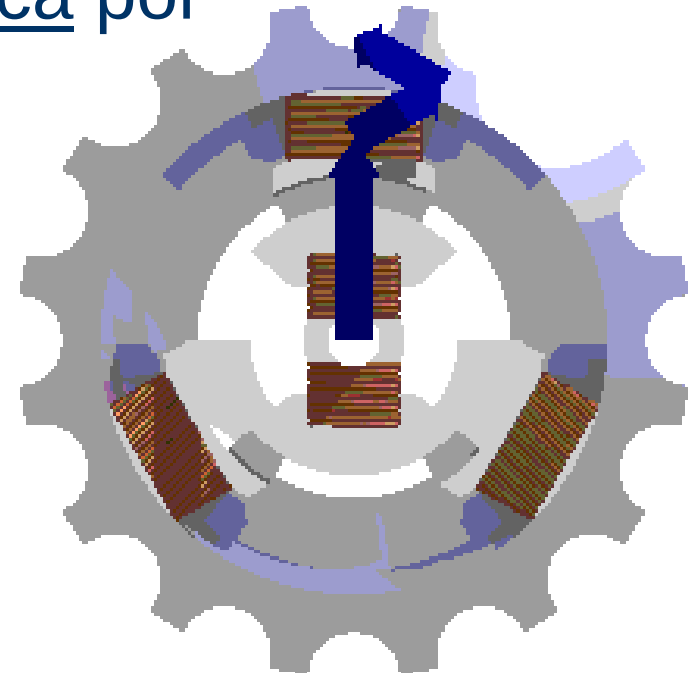
MOTORES ELÉCTRICOS



Proyectos de Ingeniería Mecánica
Ing. José Carlos López Arenales

Motores Eléctricos

- Un **motor eléctrico** es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas



Funcionamiento

- Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

Funcionamiento

- El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Funcionamiento

- Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha o eje.

Ventajas

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.

Ventajas

- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- Este tipo de motores no emite contaminantes, aunque en la generación de energía eléctrica de la mayoría de las redes de suministro si emiten contaminantes

Principales tipos

- Motor de corriente continua CC
- Motor de corriente alterna AC

Motores de CC

- El **motor de corriente continua** es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica.
- En la actualidad existen nuevas aplicaciones con motores eléctricos que no producen movimiento rotatorio, sino que con algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales.



Motores de CC

- Los motores de corriente continua son de los más versátiles en la industria.
- Su fácil control de posición, paro y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos.

Motores de CC



Motores de CC

- Pero con la llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues los motores de corriente alterna, del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria. A pesar de esto los motores de corriente continua se siguen utilizando en muchas aplicaciones de potencia (trenes y tranvías) o de precisión (máquinas, micro motores, etc.)

Motores de CC

- La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.
- Su principal inconveniente, el mantenimiento, muy caro y laborioso.

Motores de CC



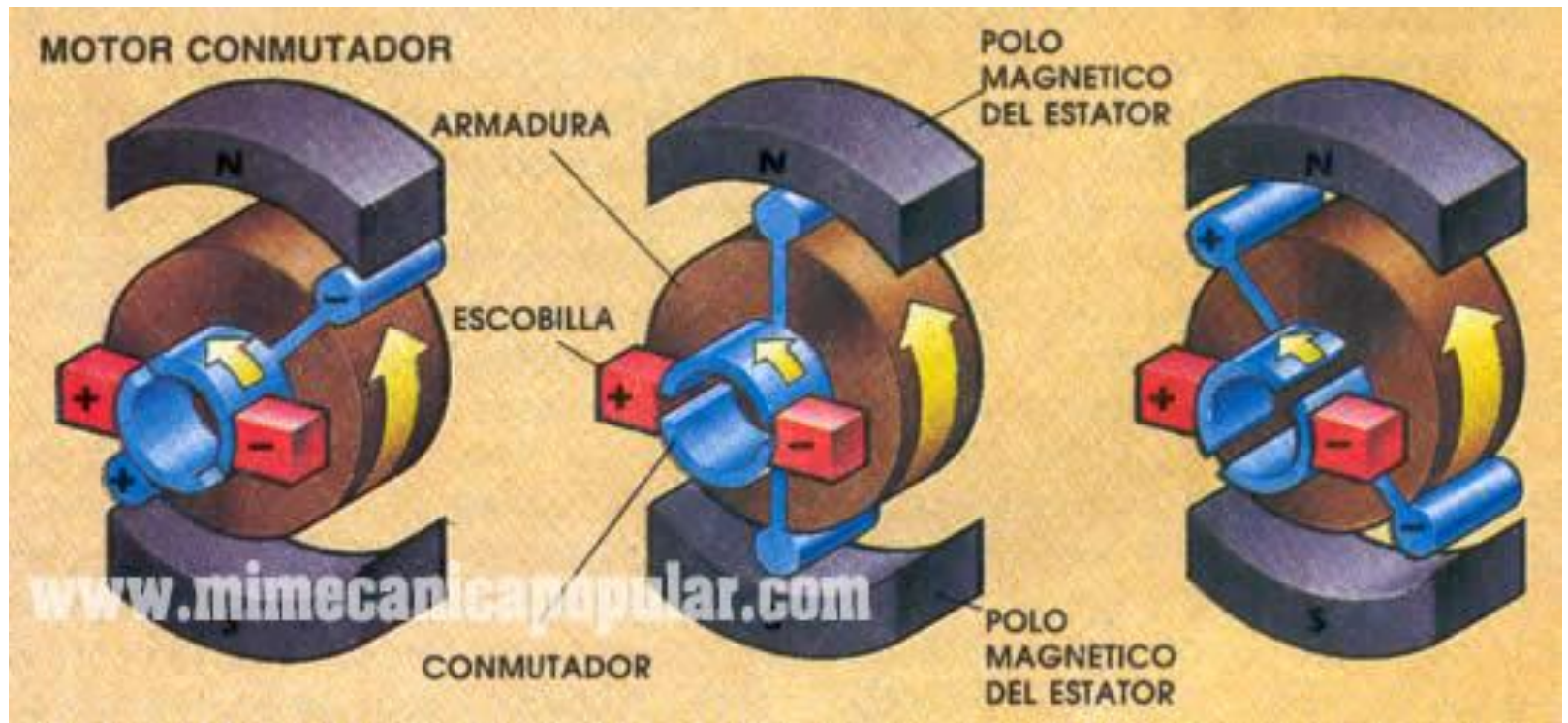
- Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes.
- En el estator se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro.

Motores de CC

- El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.
- También se construyen motores de CC con el rotor de imanes permanentes para aplicaciones especiales



MOTOR CONMUTADOR





Motores de Corriente Alterna

- Existen dos tipos de motores que utilizan corriente alterna:
 - Motores síncronos
 - Motores asíncronos

Motor Síncrono

- El **motor síncrono** es en esencia un alternador trifásico que funciona a la inversa.
- Los imanes del campo se montan sobre un rotor y se excitan mediante corriente continua, y las bobinas de la armadura están divididas en tres partes y alimentadas con corriente alterna trifásica.

Motor Síncrono



Motor Asíncrono

- La variación de las tres ondas de corriente en la armadura provoca una reacción magnética variable con los polos de los imanes del campo, y hace que el campo gire a una velocidad constante, que se determina por la frecuencia de la corriente en la línea de potencia de corriente alterna.

Motor Asíncrono

- El motor asíncrono fue creado en su forma más simple por Galileo Ferraris y Nikola Tesla en 1885-86. Dos años más tarde se construyó una máquina con el rotor en forma de jaula de ardilla. el rotor de bobinado se desarrolló a principio del Siglo XX.

Motor asíncrono

- La diferencia del motor asíncrono con el resto de los motores eléctricos radica en el hecho de que no existe corriente conducida a uno de sus devanados (normalmente al rotor).
- La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio; por esta razón, a este tipo de motores se les designa también como motores de inducción.

Motor asíncrono

- La denominación de motores asíncronos obedece a que la velocidad de giro del motor no es la de sincronismo, impuesta por la frecuencia de la red.

Motor asíncrono

- Hoy en día se puede decir que más del 80% de los motores eléctricos utilizados en la industria son de este tipo, trabajando en general a velocidad prácticamente constante.
- No obstante, y gracias al desarrollo de la electrónica de potencia (inversores y cicloconvertidores), en los últimos años está aumentando considerablemente la utilización de este tipo de motores a velocidad variable.

Motor asíncrono

- La gran utilización de los motores asíncronos se debe a las siguientes causas:
construcción simple, bajo peso, mínimo volumen, bajo coste y mantenimiento inferior al de cualquier otro tipo de motor eléctrico

Motor asíncrono

- Hay dos tipos básicos de motores asíncronos:
 - Motores de jaula de ardilla: el devanado del rotor está formado por barras de cobre o aluminio, cuyos extremos están puestos en cortocircuito por dos anillos a los cuales se unen por medio de soldadura o fundición.
 - Motor de rotor bobinado: el devanado del rotor de estos motores está formado por un bobinado trifásico similar al del estátor, con igual número de polos.

Motor asíncrono

- Un motor de rotor bobinado a igualdad de potencia y clase de protección, es más costoso, menos robusto y exige un mantenimiento mayor que uno de jaula de ardilla. No obstante, frente a este último posee fundamentalmente dos ventajas, que en algunos casos concretos resultan determinantes: las características del circuito eléctrico del rotor pueden ser modificadas en cada instante desde el exterior, y la tensión e intensidad del rotor son directamente accesibles a la medida o al control electrónico.

Motor asíncrono

- Cuando se alimenta el estátor de un motor asíncrono con un sistema trifásico de tensiones de frecuencia f_1 , se origina en el entrehierro un campo magnético giratorio de amplitud constante cuya velocidad es $n_1 = 60f_1 / p$, donde p es el número de pares de polos del motor. Esta velocidad recibe el nombre de velocidad de sincronismo.

Motor asíncrono

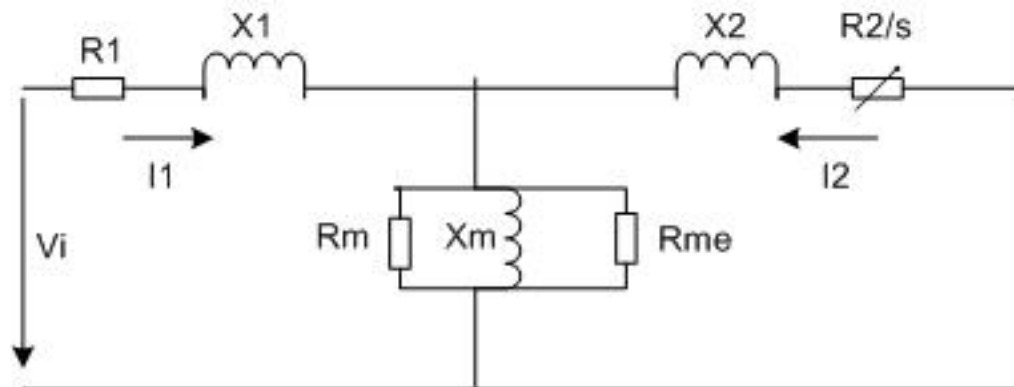
- En los conductores del rotor, el campo giratorio inducirá unas fuerzas electromagnéticas, que al estar el devanado en cortocircuito darán lugar a unas corrientes. Éstas en presencia de un campo magnético, determinan que sobre los conductores actúen unas fuerzas, las cuales producen un par, que de acuerdo a la ley de Lenz, hace que el rotor tienda a seguir el campo del estátor.

- La velocidad de giro del rotor (n) no podrá igualar a la de sincronismo n_1 , ya que entonces no se produciría la variación de flujo en el devanado del rotor y no se induciría ninguna fuerza electromagnética. Se denomina deslizamiento (s), a la velocidad relativa del campo giratorio respecto del rotor, expresado en tanto por uno de la velocidad del campo, es decir: $S = \frac{n_1 - n}{n_1}$

Motor asíncrono

- Dado que el deslizamiento de la mayor parte de los motores comerciales de inducción de jaula de ardilla, a la velocidad nominal en general de alrededor de un 5% , no se pueden alcanzar velocidades mayores a 3600 r.p.m. A 60 Hz, las velocidades son muy múltiplos de los inversos del números de polos en el estator: 1800, 1200, 900, 720 r.p.m. Etc.

Motor asíncrono



La nomenclatura utilizada es:

X_1 : Reactancia de dispersión o fugas del bobinado estatórico.

R_1 : Resistencia óhmica del bobinado estatórico.

R_m : Resistencia que representa a las pérdidas magnéticas.

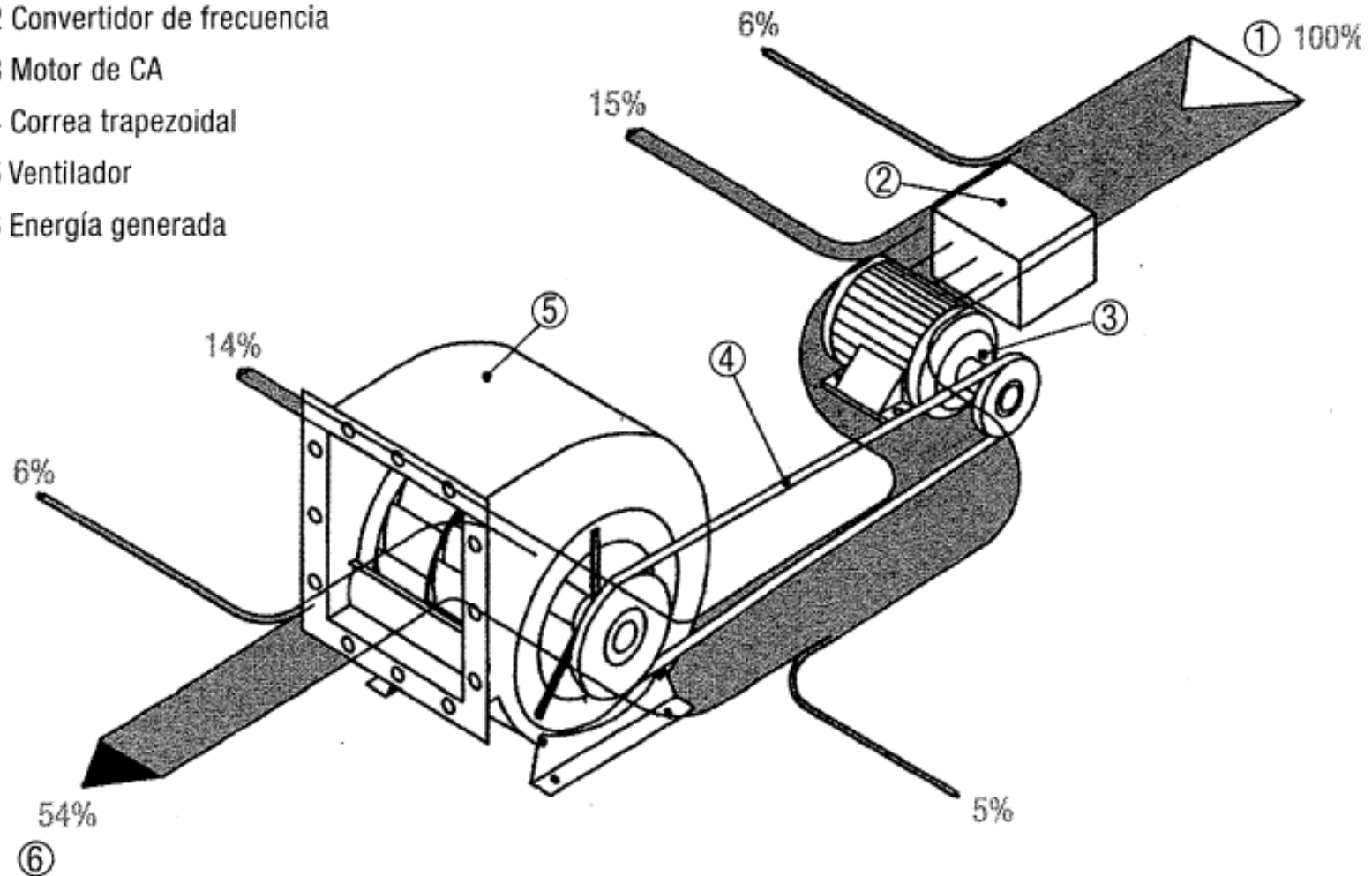
X_m : Reactancia que representa a la corriente magnetizante.

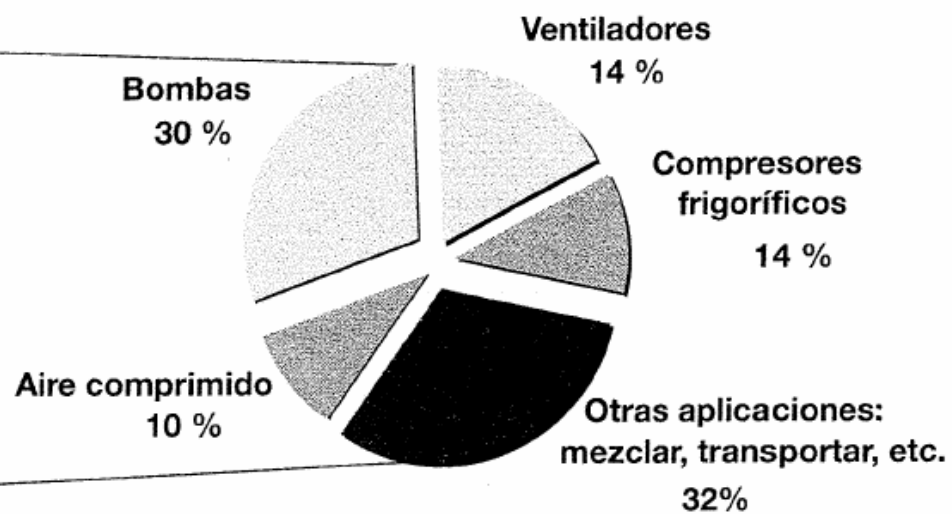
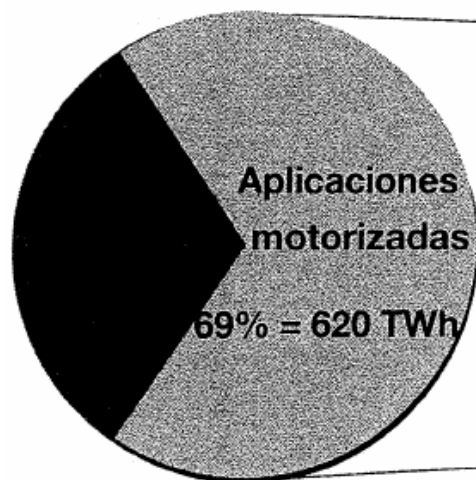
R_{me} : Resistencia variable que representa las pérdidas mecánicas.

X_2 : Reactancia de dispersión o fugas del bobinado de rotor.

R_2 : Resistencia óhmica del bobinado de estatór.

- 1 Energía consumida
- 2 Convertidor de frecuencia
- 3 Motor de CA
- 4 Correa trapezoidal
- 5 Ventilador
- 6 Energía generada

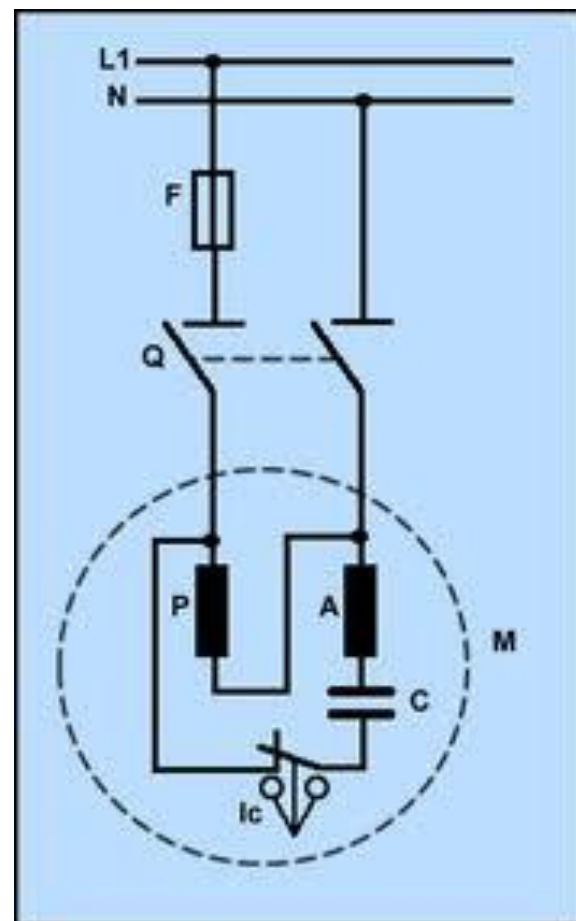




Motor asíncrono

- Motores monofásicos:
 - Utilizan un debanado de arranque partido, utilizando un debanado principal y uno auxiliar conectado en serie con un condensador.
 - Esto hace un deslizamiento de unos 20% con lo cual se logra que arranque solo.
 - Utilizan un sistema centrífugo que desconecta el debanado auxiliar.

Motores monofásicos



Tipos de Aislamiento

CLASE DE AISLAMIENTO	MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN		TEMPERATURA MÁXIMA DE EMPLEO (°C)
	MATERIAL AISLANTE	MEDIO AGLOMERANTE O IMPREGNANTE	
E	- Esmaltes de acetato de polivinilo, poliuretano. - Aglomerado con celulosa.	- Melamina con formaldehído. - Fenol con formaldehído.	120 °C
B	- Fibras de vidrio. - Productos de mica. - Esmaltes de politereftalatos - Films de policarbonato.	- Goma laca - Compuestos asfálticos o bituminosos. - Resinas alquídicas. - Resinas poliéster. - Melamina y formaldehído.	130 °C
F	- Fibras de vidrio. - Productos de mica. - Esmaltes de poliamidas aromáticas. - Films de poliéster-imida.	- Resinas epoxi. - Resinas de poliuretano. - Resinas de silicona.	155 °C
H	- Fibras de vidrio - Films de poliamidas aromáticas y de poliamidas. - Politetrafluoroetileno. - Caucho silicona	- Resinas de silicona	180 °C
C	- Porcelana, mica, cuarzo, vidrio u otro material cerámico. - Politetrafluoroetileno.	- Resinas de silicona cuando sea preciso.	> 180 °C

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

- Para distinguir entre diversos tipos disponibles, la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) ha desarrollado un sistema de identificación en la cual cada tipo de motor comercial de inducción de jaula de ardilla se fabrica de acuerdo con determinadas propiedades de la construcción eléctrica y mecánica del rotor.

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

Clase	Par de arranque	Corriente de	Regulación de	Nombre de clase
NEMA	(# de veces el nominal)	Arranque	Velocidad (%)	Del motor
A	1.5-1.75	5 - 7	2 - 4	Normal
B	1.4-1.6	4.5-5	3-5	De propósito general
C	2-2.5	3.5-5	4 - 5	De doble jaula alto par
D	2.5-3.0	3 - 8	5-8 , 8-13	De alto par alta resistencia
F	1.25	2 - 4	mayor de 5	De doble jaula, bajo par y baja corriente de arranque.

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

Clase A:

- Uso a velocidad constante.
- Muy buena disipación de calor
- Durante el periodo de arranque, la densidad de corriente es alta cerca de la superficie del rotor; durante el periodo de la marcha, la densidad se distribuye con uniformidad.
- Tiene la mejor regulación de velocidad pero su corriente de arranque varía entre 5 y 7 veces la corriente nominal normal.

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

Clase B

- Se les llama motores de propósito general; Muy parecido al de la clase A debido al comportamiento de su deslizamiento-par.
- La mayor profundidad de sus ranuras tiende a aumentar la reactancia de arranque y la marcha del rotor. Lo cual reduce un poco el par y la corriente de arranque.
- Los motores de clase B se prefieren sobre los de la clase A para tamaños mayores.
- Las aplicaciones típicas comprenden las bombas centrífugas de impulsión, las máquinas herramientas y los sopladores.

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

Clase C

- Tienen un rotor de doble jaula de ardilla, el cual desarrolla un alto par de arranque y una menor corriente de arranque.
- Acelera rápidamente, sin embargo cuando se emplea en grandes cargas, se limita la disipación térmica del motor.
- En condiciones de arranque frecuente, el rotor tiene tendencia a sobre calentarse se adecua mejor a grandes cargas repentinas pero de tipo de baja inercia.
- Las aplicaciones se limitan a condiciones en las que es difícil el arranque como en bombas y compresores de pistón.

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

Clase D

- Se conocen también como de alto par y alta resistencia.
- Las barras del rotor se fabrican en aleación de alta resistencia y se colocan en ranuras cercanas a la superficie. La relación de resistencia a reactancia del rotor de arranque es mayor que en los motores de las clases anteriores.
- El motor está diseñado para servicio pesado de arranque, con cargas como cizallas o troqueles, que necesitan el alto par con aplicación a carga repentina la regulación de velocidad en esta clase de motores es la peor.

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

Clase F

- Son motores de doble jaula y bajo par. Están diseñados principalmente como motores de baja corriente. Necesita la menor corriente de arranque de todas las clases.
- Tiene una alta resistencia del rotor tanto en su devanado de arranque como en el de marcha y tiende a aumentar la impedancia de arranque y de marcha, y a reducir la corriente de marcha y de arranque.

Clasificación de motores Jaula de Ardilla

Clase F

- Se diseñó para remplazar al motor de clase B.
- Produce pares de arranque aproximadamente 1.25 veces el par nominal y bajas corrientes de arranque de 2 a 4 veces la nominal.
- Se fabrican de la capacidad de 25 hp para servicio directo de la línea.
- Debido a la resistencia del rotor relativamente alta de arranque y de marcha, estos motores tienen menos regulación de voltaje de los de clase B, bajan capacidad de sobrecarga y en general de baja eficiencia de funcionamiento.
- Cuando se arrancan con grandes cargas, las bajas de corrientes de arranque eliminan la necesidad de equipo para voltaje reducido, aún en los tamaños grandes.

Motores eléctricos

- Vida Útil / Ciclos de trabajo:
 - Depende del Servicio y del Entorno
- Influencias:
 - Arranques Frecuentes
 - Variaciones de Velocidad
 - Oscilaciones Pendulares
 - Inversiones del sentido de giro
 - Sobrecargas Térmicas
 - Oscilaciones de Temperatura
 - Condiciones Ambientales: Suciedad, Humedad,
 - Altitud, Atmósferas Explosivas o Agresivas
 - Sacudidas

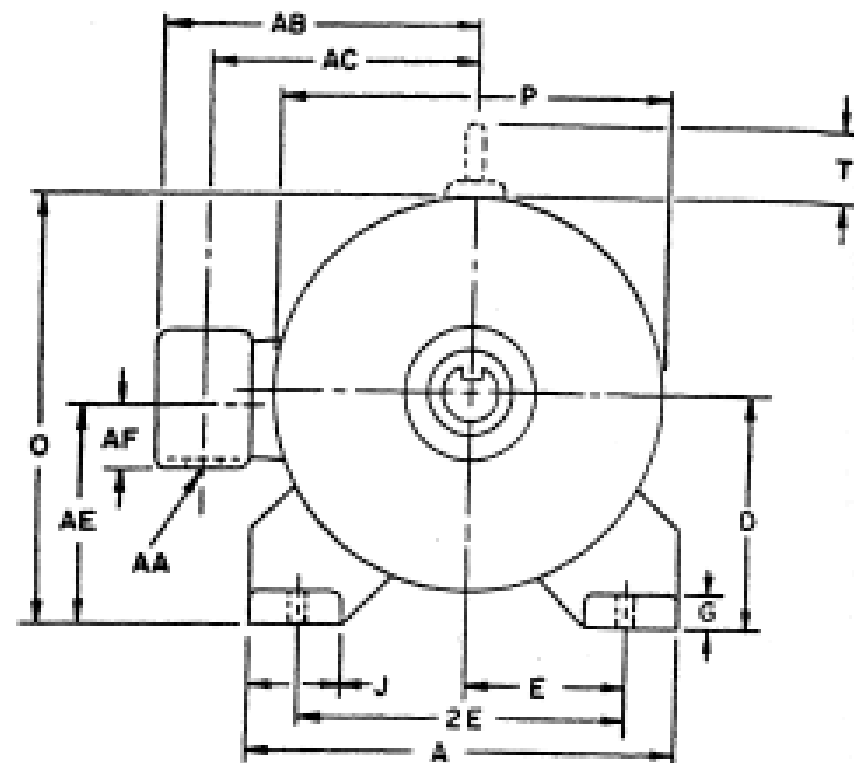
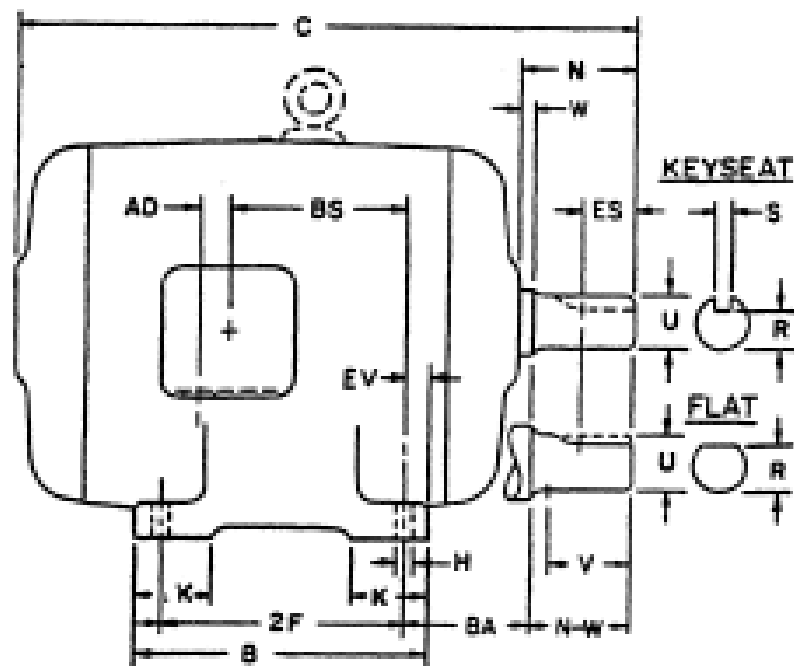
Motores eléctricos

- Dimensiones

Estandarizadas -> Permite el intercambio entre distintas marcas

Toda la información necesaria para acoplar el motor mecánicamente a la máquina accionada.

Dimensiones



Selección Inicial

Catálogos de fabricantes

- Placa de características
- Designación de bornes y conexión
- Corriente consumida (nominal)
- Potencia nominal
- Clase de aislamiento
- Calentamiento nominal
- Velocidad a plena carga
- Nombre del fabricante
- Número de serie y año de fabricación

Selección Inicial

Datos necesarios:

- Par resistente de la máquina accionada.
- Inercia de la máquina accionada.
- Rango de velocidades.
- Variaciones cíclicas de potencia.
- Rendimiento de la máquina accionada.
- Sentido de giro.
- Condiciones ambientales del lugar de instalación.
- Número de arranques por hora. Tiempo de conexión.
- Tensión de alimentación. Capacidad de la red y Limitación de la corriente de arranque.
- Coste energético de la energía activa y reactiva.

Tipos de carcaza (envolventes)

La NEMA reconoce las siguientes:

- Carcaza a prueba de agua. Envolvente totalmente cerrada para impedir que entre agua aplicada en forma de un chorro o manguera y con medios de drenar agua al interior.
- Carcaza a prueba de ignición de polvos. Fabricada para evitar que entren cantidades de polvo que puedan encender o afectar desempeño o capacidad.

Tipos de carcaza (envolventes)

- Carcaza a prueba de explosión. Envolvente totalmente cerrada diseñada y construida para resistir una explosión de un determinado gas.
- Carcaza totalmente cerrada envolvente que evita el intercambio de aire entre el interior y el exterior de ella pero que no es lo suficientemente cerrada para poderla considerar hermética al aire.

Tipos de carcaza (envolventes)

- Carcaza protegida al temporal. Envolvente abierta cuyos conductos de ventilación están diseñados para reducir al mínimo la entrada de lluvia o nieve y partículas suspendidas en el aire, y el acceso de estas en las partes eléctricas.
- Carcaza protegida. Envolvente abierta en la cual todas las aberturas conducen directamente a partes vivas o giratorias.

Tipos de carcaza (envolventes)

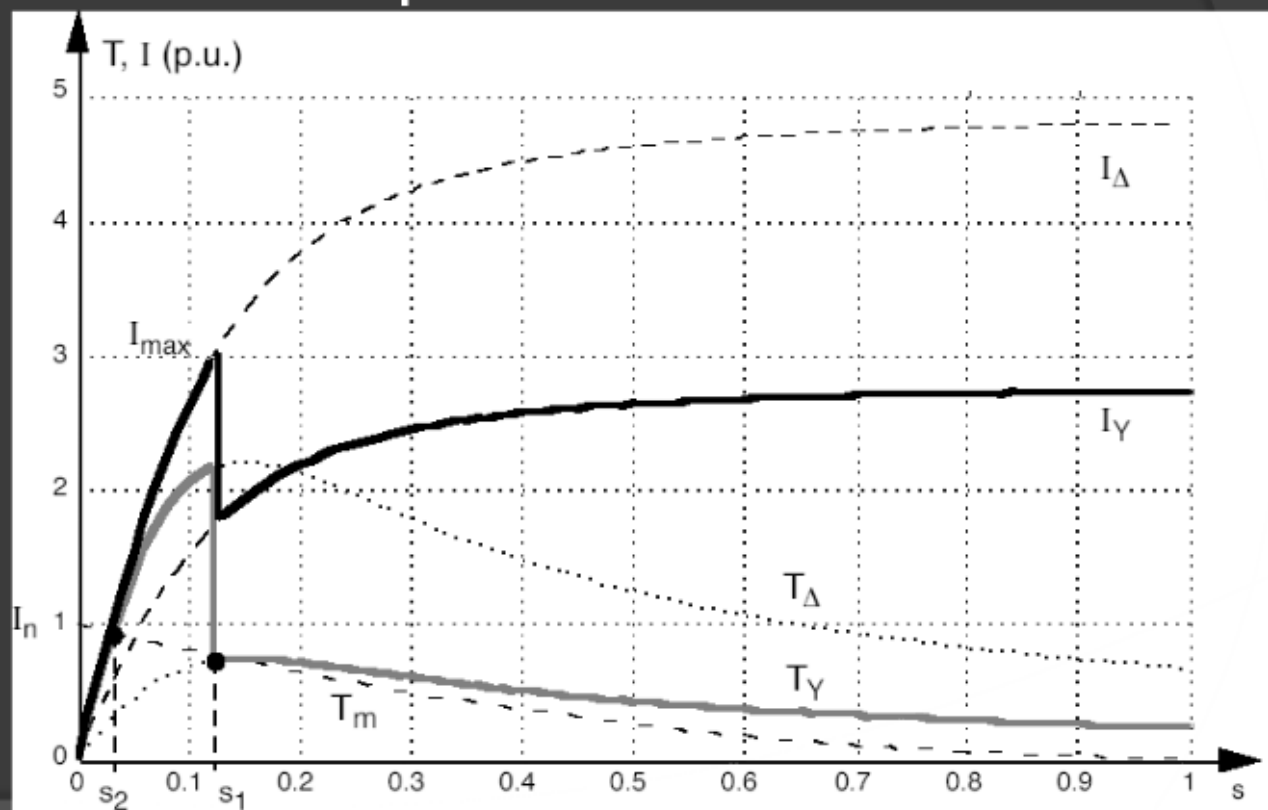
- Carcaza a prueba de salpicaduras. Envolvente abierta en la que las aberturas de ventilación están fabricadas de tal modo que si caen partículas de sólidos o gotas de líquidos a cualquier ángulo no puedan entrar en forma directa.
- Carcaza a prueba de goteo.
- Carcaza abierta envolvente que permiten el flujo de aire externo de enfriamiento sobre y alrededor de los devanados de la máquina.

Tipos de carcaza (envolventes)

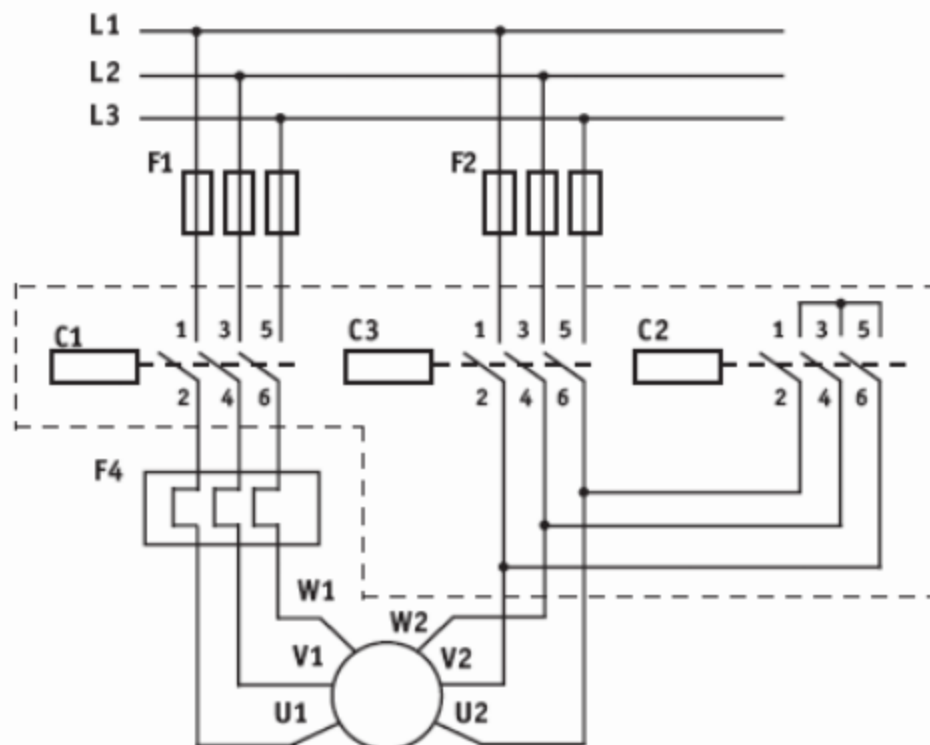
- El costo y el tamaño de los motores totalmente cerrados es mayor que el de los motores abiertos, de la misma potencia y ciclo de trabajo y elevación sobre la temperatura ambiente.

REQUISITOS DE MAQUINA ARRASTRADA			MOTOR RECOMENDADO	
PARES RESISTENTES	CLASES DE EQUIPO ARRASTRADO	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES DEL MOTOR	MOTOR RECOMENDADO Y ALTERNATIVAS	RECOMENDACIONES EQUIPO DE ARRANQUE Y COMENTARIOS
A. Arranque ligero 1. Pares requeridos por carga a. Despegue 25/40% b. Arranque 10/25% c. Máximo 130/150%	Bombas centrífugas ó tipo hélice. Ventiladores, compresores. Mezcladoras de líquidos. Grupos motor generador.	Bajo deslizamiento	Motor de jaula diseño B	Arranque directo
			Motor de jaula diseño A	Como alternativa de arranque por tensión reducida
		1. Corriente de arranque menor que la nominal 2. Bajo deslizamiento	Motor diseño B ó C o variante en anillos	Como alternativa de arranque por tensión reducida
2. Iguales requisitos que arriba	2. Máquinas herramientas (cuando no tienen muchos frenados e inversiones de marchas)	Bajo deslizamiento	Motor de cortocircuito diseño A ó B	Arranque directo Motor cerrado
B. Arranque medio 1. Arranque sin carga 2. Pares requeridos por carga a. Despegue 40/70% b. Arranque 20/50% c. Máximo 130/150%	Cintas transportadoras Líneas de ejes de transmisión Mezcladoras de polvo Molinos de pulpa Compresores volumétricos o bombas y compresores recíprocos	Bajo deslizamiento	Motor de cortocircuito diseño A ó B	Arranque directo
		1. Corriente de arranque menor que la nominal 2. Bajo deslizamiento	Motor de cortocircuito diseño C Alternativa motor de anillos	Como alternativa de arranque por tensión reducida
C. Arranque pesado 1. Arranque en carga 2. Pares requeridos por carga a. Despegue 100/150% b. Arranque 75/125% c. Máximo 130/175%	Grandes sierras circulares Grandes cintas transportadoras Mezcladoras Bombas y compresores recíprocos	1. Alto par de arranque 2. Bajo deslizamiento	Motor cortocircuito diseño C	Arranque directo
		1. Mínima corriente de arranque 2. Alto par de arranque 3. Bajo deslizamiento	Motor de anillos	Arrancador rotor de resistencias variables
D. Cargas con altas puntas 1. Arranque en carga 2. Pulsación del par máximo de carga 3. Pares requeridos a. Despegue 65/200% b. Arranque 50/175% por carga c. Punta 200/250% Los trituradores de mandíbulas y algunos trenes de laminación requieren el 350%	Equipo para triturar el grano, papel, goma, y equipo de laminación de metales Bombas rotativas de vacío en industria del papel Pulverizadores Trituradores de madera Molinos de martillos	1. Alto par de arranque 2. Bajo deslizamiento 3. Altos pares de despegue	Muchas veces se necesitan motores de cortocircuito diseño C con alto par de arranque. Hay que informar al fabricante del motor Cuando el par sea pulsatorio el diseño ha de ser especial por problemas de resonancia torsional. Es preciso indicar curvas de pares resistentes	
		1. Corriente de arranque mínima 2. Alto par de arranque 3. Bajo deslizamiento	Motor de anillos	Además de lo indicado arriba arrancador rotórico de resistencias variables

Torque y corriente durante el arranque estrella-delta



Esquema de potencia para arrancador estrella-delta



F1 y F2 = Fusibles.

C1: Contactor Red.

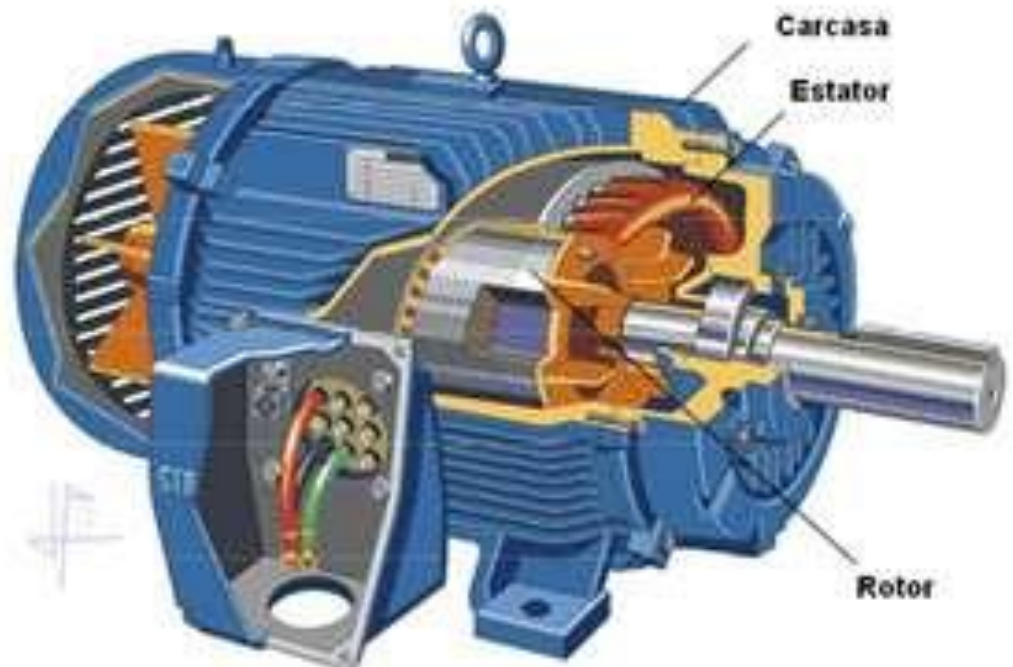
C2: Contactor Estrella.

C3: Contactor Triángulo.

F1: Fusible.

F4: Relé de sobrecarga.

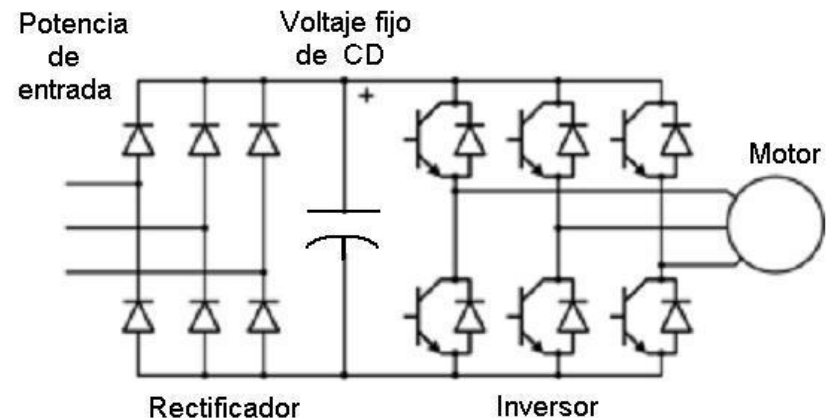
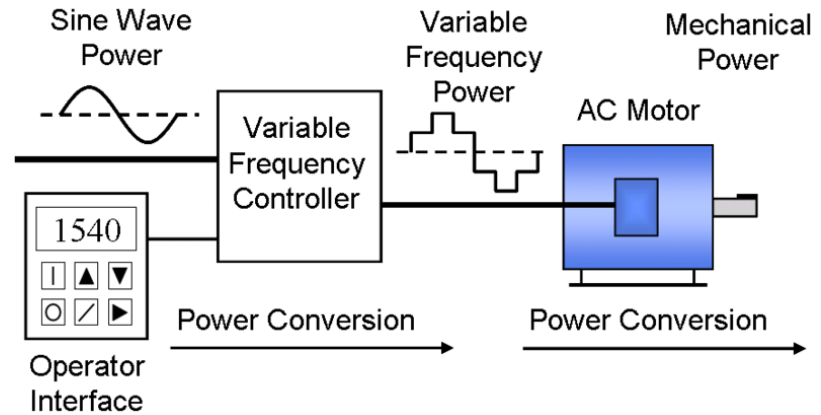
Motor jaula de ardilla



Arrancador suave



Variadores de frecuencia



Variadores de frecuencia

Ventajas:

- No tiene partes móviles.
- Permite arranques suaves, en rampa.
- Limitación de la corriente de arranque.
- Posibilidad de ajustar en tiempo la rampa de aceleración del motor.
- Detecta y controla la falta de fase en la entrada y salida del motor, así como bajos voltajes.

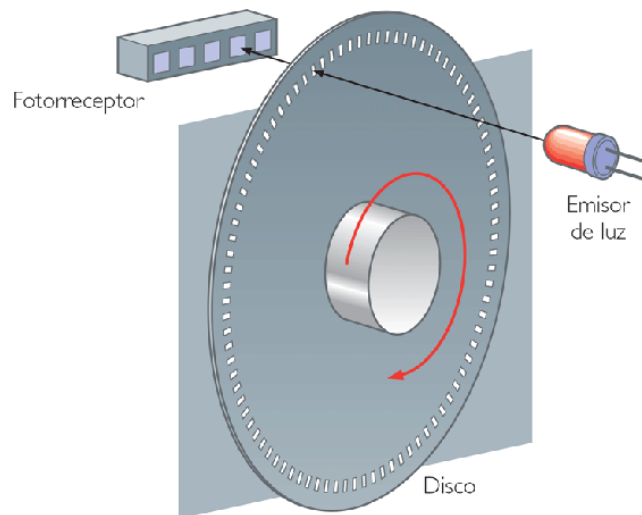
Variadores de frecuencia

- Ahorra energía con acción directa sobre el factor de potencia.
- Control directo por PLC
- Mejor rendimiento del motor.
- No tiene limitación en cuanto a número de arranques.

Variadores



Encoders





GRACIAS!!!