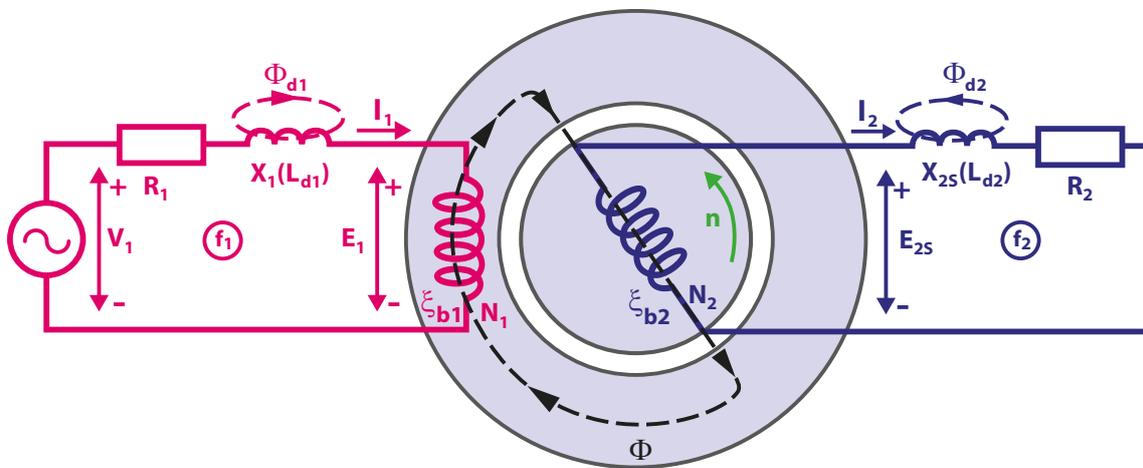


TEORÍA DE MOTOR ASÍNCRONO O DE INDUCCIÓN - TÉCNICA DE 87HZ

El más simple de todos los tipos de motores eléctricos es el **motor de inducción de caja de ardilla** que se usa con alimentación trifásica. La armadura de este tipo de motor consiste en tres bobinas fijas y es similar a la del motor síncrono. El elemento rotatorio consiste en un núcleo, en el que se incluyen una serie de conductores de gran capacidad colocados en círculo alrededor del árbol y paralelos a él.

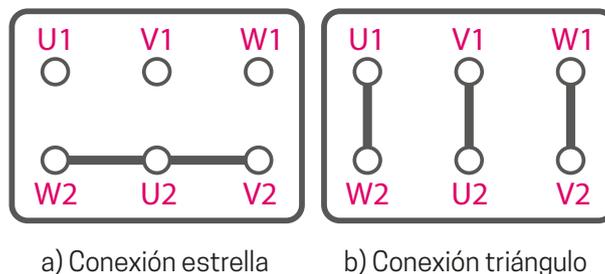
La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio; por esta razón, a este tipo de motores se les designa también como motores de inducción.

Para hacer un análisis de circuito eléctrico se utiliza el circuito equivalente del siguiente esquema.



Esquema 1: Circuito equivalente del motor asíncrono incluyendo pérdidas mecánicas

En una máquina asíncrona trifásica de jaula de ardilla la caja de bornes tiene seis terminales, correspondientes a los extremos de las tres fases del estator (dos extremos, principio y final, por cada fase), formando dos hileras de tres. De esta forma resulta fácil el conectar el devanado del estator en estrella (Esquema. 2a) o en triángulo (Esquema. 2b).



a) Conexión estrella

b) Conexión triángulo

Esquema 2: Caja de bornes de una máquina asíncrona trifásica de jaula de ardilla:
(En ambos casos los terminales U1, V1 y W1 son los que se conectan a las fases de la red)

Esta facilidad para conectar en estrella o en triángulo el devanado del estator permite que una máquina asíncrona pueda funcionar con dos tensiones asignadas de línea distintas, que guardan entre sí una relación $\sqrt{3}$.

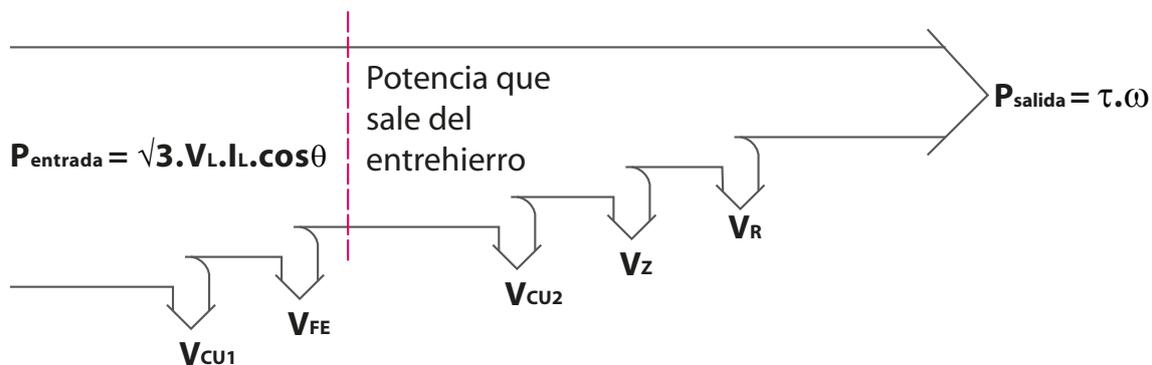
Así, por ejemplo, un motor de 400/230 V tiene una tensión asignada de fase de 230 V. Por esta razón, cuando se quiera utilizar en una red cuya tensión de línea sea 230 V se empleará la conexión triángulo, porque en ella las tensiones de fase y de línea son iguales. Si se quiere utilizar esta máquina en una red cuya tensión de línea sea 400 V deberá emplearse la conexión estrella, porque en ella la tensión de fase es igual a la tensión fase-neutro, la cual es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de línea.

En resumen, la posibilidad de cambiar de conexión en el estator permite funcionar a la máquina asíncrona con dos tensiones asignadas de línea diferentes. La menor corresponde a la conexión triángulo y es también igual a la tensión asignada de fase. La mayor corresponde a la conexión en estrella.

TEORÍA DE POTENCIA MOTOR ASÍNCRONO

En este apartado se va a estudiar el balance de potencias de una máquina asíncrona actuando como motor. En consecuencia, en lo que sigue se adopta el criterio de signos de considerar positivas las potencias cuyo sentido sea el correspondiente al funcionamiento de la máquina como motor. Se supondrá que la máquina funciona con una marcha industrial (por lo tanto, el valor eficaz y la frecuencia de las tensiones de las fases del estator son constantes e iguales a sus valores asignados) y con un deslizamiento pequeño.

En un motor la potencia fluye desde el estator hacia el rotor y el eje de la máquina (ver el Esquema. 3), transformándose la energía eléctrica absorbida en el estator P_1 en potencia mecánica útil P_u en el eje.



Esquema 3: Balance de potencias de un motor asíncrono

La **potencia activa absorbida por el estator P_1** en función de los valores de fase de la tensión V_1 y de la corriente I_1 estatórica, así como del factor de potencia $\cos \rho_1$ y del número de fases m_1 del estator se obtiene así:

$$P_{\text{ent}} = m_L V_L I_L \cos \rho_L$$

Considerando las pérdidas mecánicas, entrehierro, etc... a cero, tendríamos el siguiente cociente de potencias para obtener el rendimiento del motor:

$$\eta (\text{rendimiento}) = P_{\text{sal}} / P_{\text{ent}}$$

Resumiendo en términos de potencia (desperdiciando las pérdidas que tiene mecánicas, entrehierro, etc... el motor), el motor de jaula de ardilla, se define en las siguiente fórmulas.

$$P_u = P_1 \text{ (rendimiento del 100\%)}$$

$$P_u = \omega M \text{ (velocidad angular por par mecánico de salida)}$$

$$P_1 = V_L I_L \text{ (corriente por tensión de alimentación)}$$

Por tanto en modo resumen y sin contar las pérdidas es:

$$\omega M = V_L I_L$$

CONEXIONADO ESPECIAL TRIANGULO MOTORES INDUCCIÓN

Cuando se opera con un motor por encima de su frecuencia nominal (50/60Hz), existen dos opciones:

- 1.- usar la posibilidad de operar el motor con el debilitamiento de campo (potencia constante y menor par)
- 2.- usar el motor con la característica de "técnica de 87Hz"

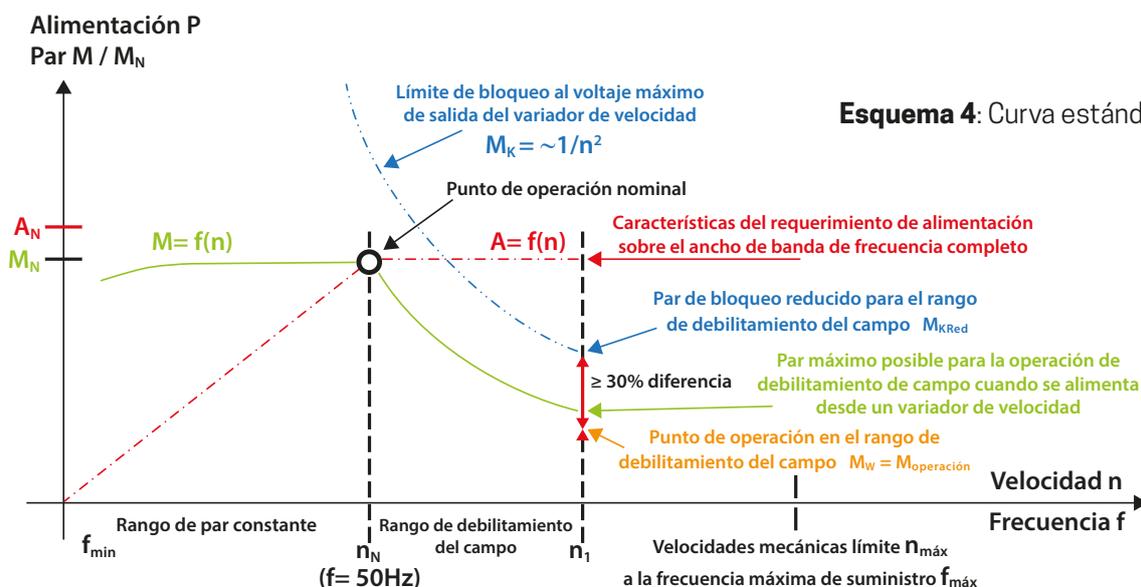
En ambos casos, estas técnicas solo son posibles con el uso de variadores de frecuencia.

Debilitamiento de campo

Normalmente, para velocidades superiores a la nominal, se aumenta adecuadamente la frecuencia de salida del convertidor, pero se tiene la desventaja de que disminuye el flujo y por tanto el par motor (es la zona de curva motor denominada de potencia constante).

La frecuencia de salida del convertidor se incrementa, mientras la salida de tensión permanece constante, sin embargo el par disminuye debido a que el flujo en el motor disminuye y la velocidad aumenta.

En zona de potencia constante, el par disminuye inversamente proporcionalmente a la velocidad incrementada por encima de la nominal, como se puede observar en el Esquema 4.



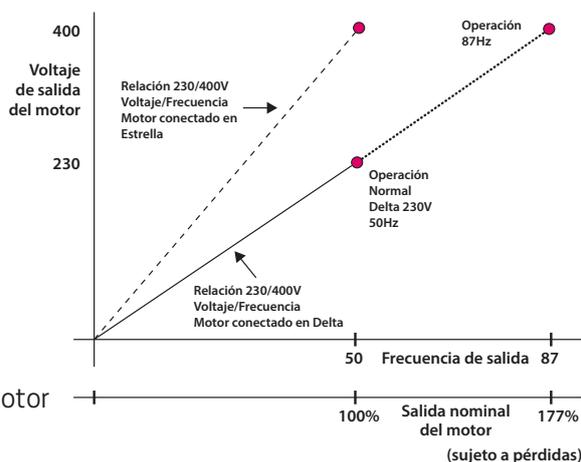
Esquema 4: Curva estándar de motor

- Se observa la línea verde (curva de par) como disminuye a partir del aumento de frecuencia nominal (debilitamiento de campo).
- La curva en rojo (potencia motor), se mantiene constante a partir del aumento de frecuencia nominal.

TÉCNICA 87HZ

De unos años atrás, los bobinados del motor se protegen con mayor aislamiento para que permitan los picos de tensión provocados por los variadores y la conmutación PWM de los IGBT's, esto ha provocado que aparezcan nuevas formas de conexión de los motores para aumentar su potencia en tallas equivalentes más pequeñas.

Este nuevo sistema de conexionado, es conocido como la "técnica de 87Hz". (Esta curva de 87Hz es una variante muy interesante ya que ofrece un flujo relativamente constante por encima de la frecuencia nominal).

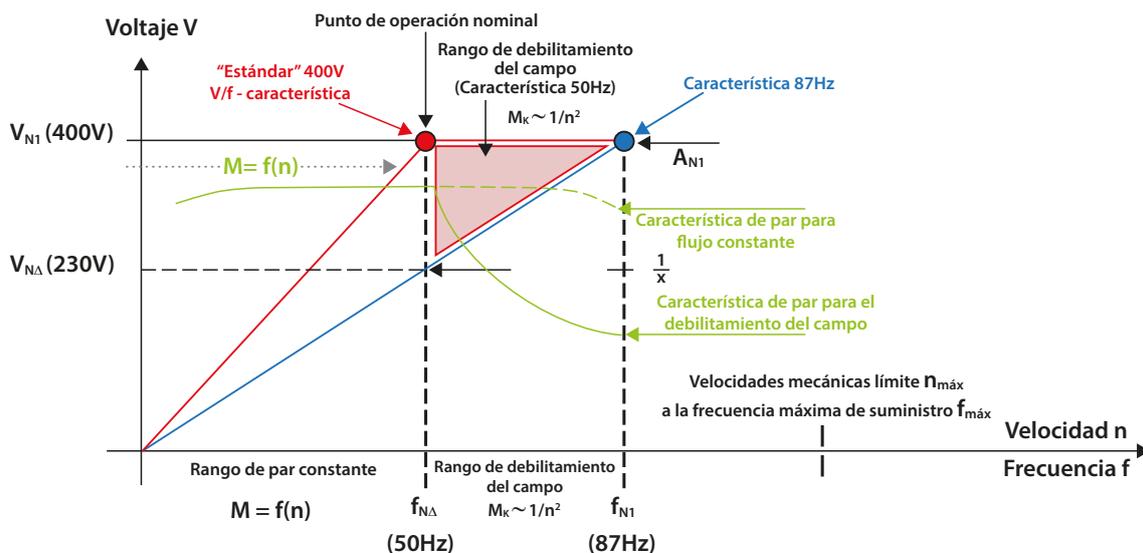


Esquema 5: Características de la curva motor

Este modo de funcionamiento es posible para los motores que, a frecuencia nominal, pueden ser conectados tanto en estrella, como en configuración delta (triángulo). Con esta técnica la configuración triángulo tiene una tensión mayor que la nominal en un factor de $\sqrt{3}$, que se usa para aumentar la velocidad por el mismo factor, o sea por $\sqrt{3}$ hasta los 87Hz, en una zona de par casi constante.

$$87\text{Hz} = 50\text{Hz} \sqrt{3}$$

En el siguiente esquema se observa la comparativa de curva motor para trabajo en régimen nominal y con la técnica de 87Hz.



Esquema 6: Comparativa curva motor con técnica 87Hz

Se observa la línea verde (curva de par) como se mantiene casi constante en la zona de debilitamiento (entre los 50Hz y los 87Hz), permitiendo trabajar al motor en zona de casi par constante.

Por ejemplo un motor de 230/400V se conecta en Δ (configuración 50Hz/230V) con una tensión de entrada de 400V (es posible gracias al refuerzo de aislamientos del motor), por lo que las características nominales nuevas son de 87Hz/400V. Para el motor significa que a partir de la frecuencia nominal de 50Hz/230V, la tensión aumenta progresivamente hasta la frecuencia de 87Hz pero sin debilitamiento de campo, sino en flujo constante (par constante).

Cuando un motor se conecta de esta forma y opera por encima de sus características nominales, tanto el motor, como el variador deben ser seleccionados, dimensionados adecuadamente para la operación y teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Las velocidades límite de la mecánica.
- El incremento térmico de la carga.
- Los incrementos de la tensión al motor (aislamiento del motor)
- La frecuencia de modulación del variador.

Al realizar este tipo nuevo de conexión y siguiendo las características generales de motores, tenemos que la potencia en este tipo de "técnica 87Hz", también aumenta en $\sqrt{3}$, pasando a ser de:

- 1.- Motor conexión triángulo estándar: 50Hz/230V/0,73Amp/0,12Kw
- 2.- Motor nueva conexión triángulo 87Hz: 87Hz/400V/0,73Amp/0,21Kw
(0,12Kw $\sqrt{3}$ = 0,21Kw)

Por lo que el convertidor a usar debe ser dimensionado según las nuevas indicaciones eléctricas de la conexión en técnica 87Hz y su aplicación final.

Se adjunta un ejemplo de placa con los tres tipos de conexionado comentados en el presente documento:

Germany			Hz	50	60	87	CE
			kW	0,18	0,22	0,33	
de			r/min	1,365	1,665	2,485	
3-Mot EN60034		1013	Range A	+ - 10%			
GKS06-4M VAK 063C32			V	Y	400	480	IE1
Motor: MDE 063-32				Δ	230	277	
i=224,524		M2=264 Nm	A	Y	0,58	0,58	 Iso CLF
n2=6.1 r/min	(50Hz)	49,5 kg		Δ	1,00	1,00	1,00
Pos.: A 335			η	%	64,0	64,0	TKO
Oil: CLP 460			cos ϕ	0,70	0,70	0,65	S1
			C86	1237		1238	
Brake: BFK456-06N 400V AC 250V DC 23W 2Nm					Rectifier: BEG-561-440-030		
Feedback:							
02007124	13323200	10000170828812					

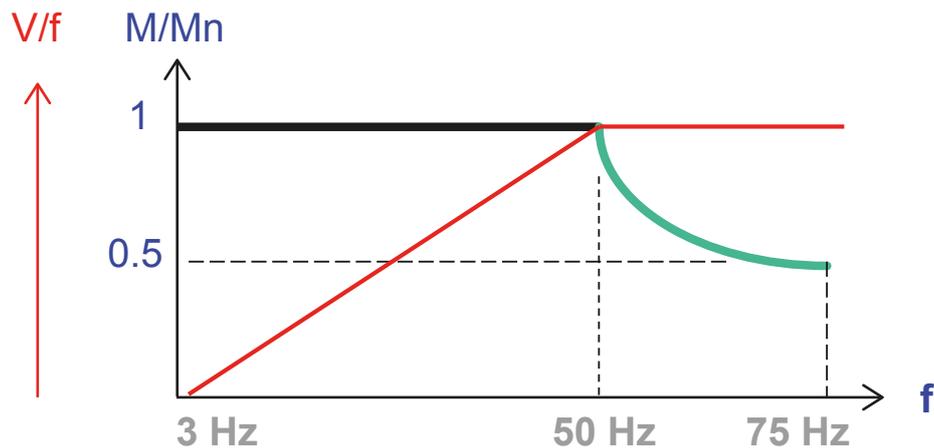
Esquema 7: Placa de características motor con técnica de 87Hz

REDUCTORES Y MECÁNICA

Es importante que los reductores usados, también admitan velocidades de 87Hz, así como las características de aceleración y desaceleración, para evitar roturas al trabajar en estas velocidades.

VARIADORES DE FRECUENCIA PAR CONSTANTE A 87HZ

CURVA MECÁNICA DE MOTOR



SELECCIÓN DEL INVERSOR

Par constante hasta 87Hz

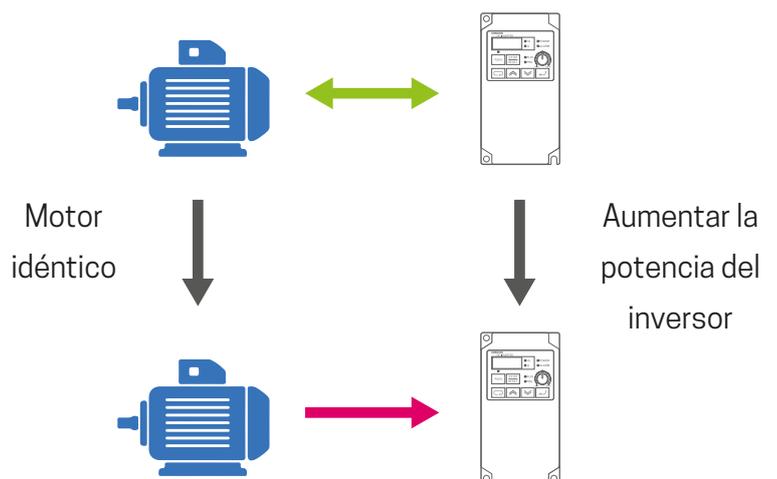
Motor:

Y 2,2kW / 400V / 5,4A / 50Hz

Δ 2,2kW / 230V / 9,4A / 50Hz

Conexión 87Hz :

Δ 3,8kW / 400V / 9,4A / 87Hz

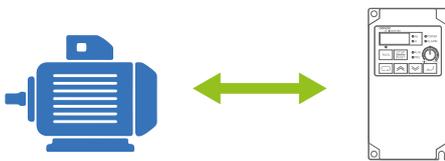


Par constante hasta 87Hz

Motor:

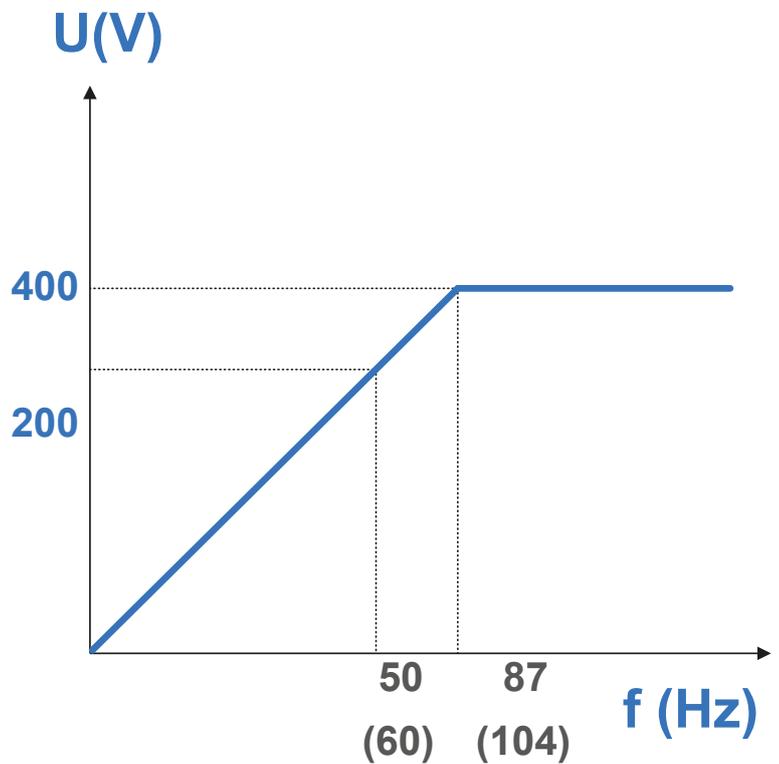
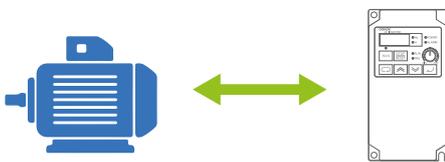
Y 2,2kW / 400V / 5,4A / 50Hz

Δ 2,2kW / 230V / 9,4A / 50Hz



Conexión 87Hz :

Δ 3,8kW / 400V / 9,4A / 87Hz



Cálculos

Motor:

2,2kW / 400V / 5,4A / 50Hz

2,2kW / 230V / 9,4A / 50Hz

$$f = \sqrt{3} \cdot f_R$$

$$I \geq I_R \cdot \sqrt{3}$$

Conexión 87Hz :

3,8kW / 400V / 9,4A / 87Hz

$$P_R = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

PROGRAMACIÓN Y AUTOTUNNING

Par constante hasta 87Hz

Autotuning:

1. Escoger un inversor mayor al motor
(Que suministre la corriente en triángulo)
2. Introducir los datos motor a 230V / triángulo.
3. Realizar autotuning

Parámetros:

1. Modificar Tensión (400Vac) y frecuencia base (87 Hz)

