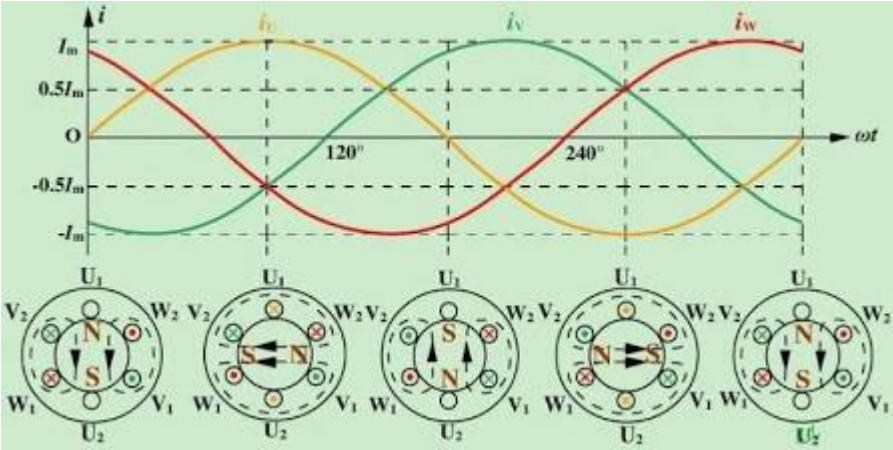


Velocidad Sincrónica y Campo Magnético Giratorio

La **velocidad sincrónica** (n_s) es la velocidad angular a la que gira el campo magnético rotatorio producido por los devanados del estator en una máquina eléctrica de corriente alterna (ya sea un motor o generador sincrónico, o un motor de inducción).



1. Fórmula Fundamental y Desglose de Parámetros

La expresión matemática que rige la velocidad del campo magnético estático es:

$$n_s = (120 \cdot f) / P$$

Parámetro	Símbolo	Unidad	Descripción
Velocidad Sincrónica	n_s	RPM (rev/min)	Velocidad angular de rotación del vector de campo magnético estático.
Frecuencia de Red	f	Hertz (Hz)	Frecuencia eléctrica de la fuente trifásica (ej. 50 Hz o 60 Hz).
Número de Polos Totales	P	Adimensional	Cantidad total de polos magnéticos (Norte y Sur). Siempre es un número par ($P = 2, 4, 6, 8...$).
Pares de Polos	p	Adimensional	Número de pares de polos magnéticos, definido como $p = P / 2$.

2. Origen Matemático de la Constante 120

La deducción paso a paso de la constante 120 surge de adaptar las magnitudes físicas de ciclos eléctricos a giros mecánicos por minuto:

1. **Relación ciclo-giro:** En una máquina básica de 1 par de polos ($p = 1$, es decir, $P = 2$ polos), cada ciclo completo de corriente alterna (360° eléctricos) hace que el vector de campo magnético realice exactamente 1 vuelta completa (360° mecánicos).
2. **Velocidad en segundos:** La velocidad de rotación en revoluciones por segundo (n_{seg}) equivale a la frecuencia dividida entre el número de pares de polos: $n_{seg} = f / p = f / (P / 2) = (2 \cdot f) / P$
3. **Conversión a revoluciones por minuto:** Puesto que 1 minuto contiene 60 segundos, multiplicamos n_{seg} por 60: $n_s = n_{seg} \cdot 60 = ((2 \cdot f) / P) \cdot 60 = (120 \cdot f) / P$

3. Tabla Comparativa de Velocidades Sincrónicas Estándar

Polos Totales (P)	Pares de Polos (p)	Velocidad a 50 Hz (RPM)	Velocidad a 60 Hz (RPM)
2	1	3000	3600
4	2	1500	1800
6	3	1000	1200
8	4	750	900
12	6	500	600

3.1 Análisis Gráfico: Velocidad Sincrónica vs. Número de Polos

A medida que aumenta el número de polos magnéticos (P), la velocidad de rotación del campo magnético disminuye hiperbólicamente para una misma frecuencia dada.

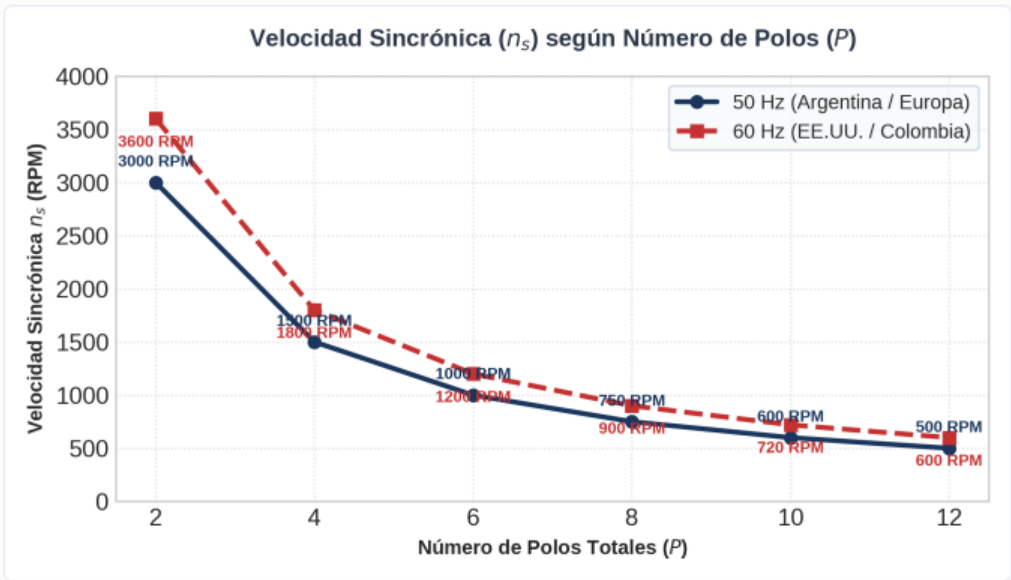


Figura 1: Relación entre la velocidad sincrónica n_s y el número de polos P a 50 Hz y 60 Hz.

4. Comportamiento en Motores de Inducción y Deslizamiento

En los motores de inducción (asíncronos), el rotor gira a una velocidad mecánica (n_r) levemente menor a la velocidad sincrónica (n_s). Esta diferencia es indispensable para inducir la fuerza electromotriz y corriente en las barras del rotor.

La diferencia relativa se denomina deslizamiento (s) y se calcula como:

$$s = (n_s - n_r) / n_s$$

$$[\%s = ((n_s - n_r) / n_s) \cdot 100]$$

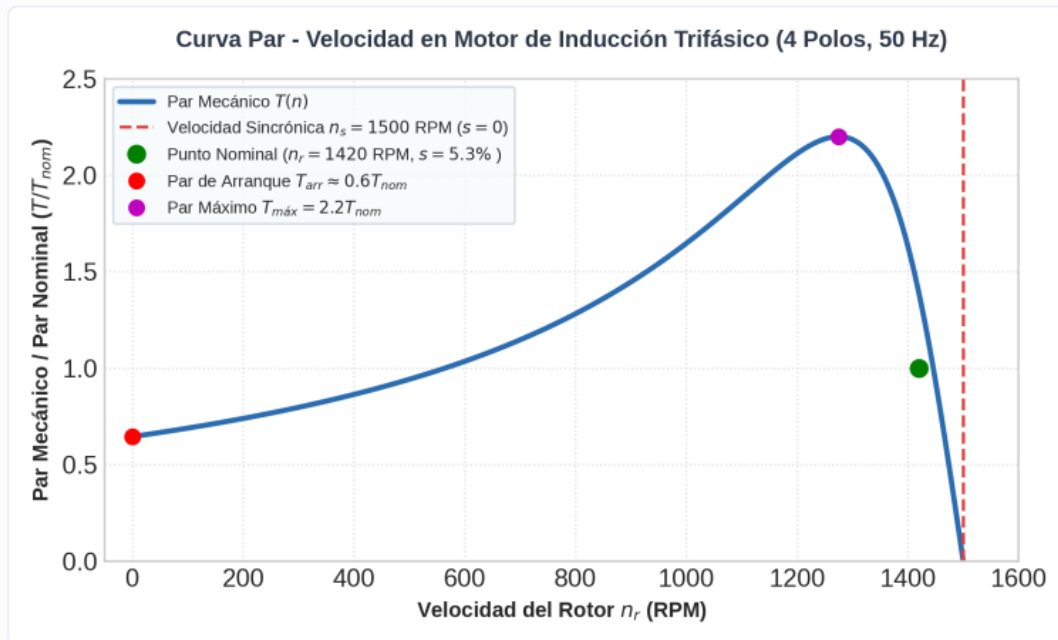


Figura 2: Curva característica Par-Velocidad de un motor de inducción trifásico de 4 polos (50 Hz, $n_s = 1500$ RPM).

Puntos clave de la curva Par-Velocidad (Figura 2)

Par de Arranque ($n_r = 0$, $s = 1$): Torque desarrollado por el motor en el instante de encendido.

Par Máximo ($T_{máx}$): Punto máximo de capacidad mecánica antes de que el motor entre en zona de colapso por sobrecarga.

Punto Nominal ($n_r = 1420$ RPM, $s = 5.3\%$): Zona de operación continua segura, donde el par desarrollado iguala a la carga nominal.

Sincronismo ($n_r = 1500$ RPM, $s = 0$): En esta velocidad teórica el par es nulo ($T = 0$) porque no existe movimiento relativo entre el rotor y el campo del estator.

5. Generación del Campo Magnético Giratorio (Principio de Ferraris)

Para entender físicamente qué es la velocidad sincrónica, es fundamental comprender cómo se crea el campo magnético giratorio en un estator trifásico:

- **Disposición espacial:** Las tres bobinas o devanados de las fases (U , V , W) están distribuidas geométricamente en el estator separadas 120° mecánicos entre sí.
- **Excitación temporal:** Las corrientes trifásicas que alimentan estas bobinas están desfasadas sinusoidalmente 120° eléctricos entre sí en el tiempo.
- **Superposición vectorial:** La suma vectorial de los tres campos magnéticos pulsantes producidos por cada fase genera un único vector de campo magnético resultante con amplitud constante que rota de forma uniforme en el espacio a la velocidad n_s .

6. Implicancias Prácticas

- **Relación velocidad - torque:** A mayor número de polos (P), menor velocidad de rotación (n_s), pero mayor torque o par motor para una misma potencia asignada.
- **Diferencia con motores de inducción:** En un motor asíncrono o de inducción, el rotor gira a una velocidad ligeramente menor que la velocidad sincrónica ($n_r < n_s$). Esta diferencia genera el *deslizamiento*, indispensable para inducir la fuerza electromotriz en el rotor.