

UNIDAD 10 – Parte 2

VARIADORES DE FRECUENCIA PARA MOTORES DE CA Tipo Jaula de Ardilla

INTRODUCCIÓN

- Históricamente el motor que resulta más fácil su regulación de velocidad es el motor de corriente continua, pero tiene algunas desventajas que por sus características constructivas (rotor bobinado y colector) resulta ser un motor de mayor costo de construcción y mantenimiento.
- El motor de corriente alterna asíncrono tipo jaula de ardilla, es un motor robusto, liviano, simple de construcción, buen rendimiento y de fácil mantenimiento, es el ideal para el uso en la industria, siendo que es un motor más rígido en cuanto a su velocidad. La velocidad del motor asíncrono depende de la forma constructiva del mismo y de la frecuencia del sistema de alimentación. La frecuencia del sistema de alimentación que entregan las Compañías de Energía es fija (50 Hz o 60 Hz), y por lo tanto la velocidad de los motores asíncronos es constante, salvo que se varíe el número de polos, la tensión o la frecuencia.
- El método más eficiente para variar la velocidad de un motor de CA es por medio de un variador electrónico de frecuencia. No se requieren motores especiales, son muy precisos y su costo cada día es más bajo

VARIADORES DE FRECUENCIA

- **VENTAJAS:**

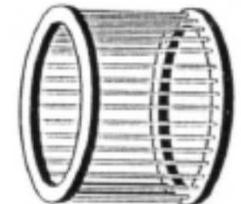
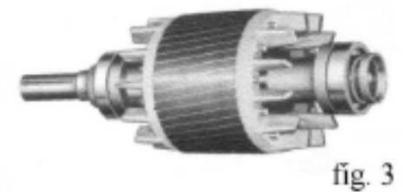
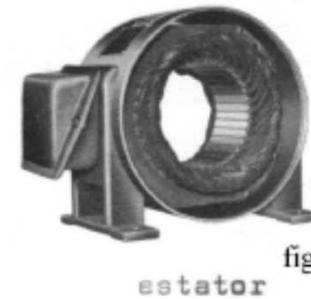
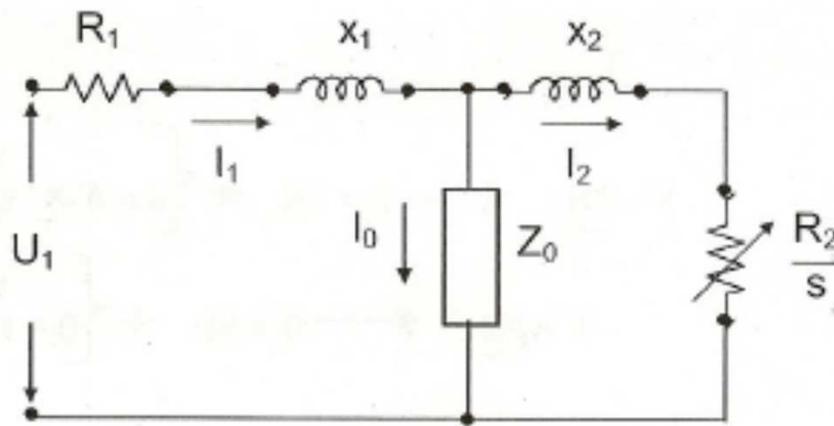
- Variación simultánea de frecuencia y tensión
- Optimización de la energía consumida
- Mejor control de la variable de proceso (movimiento, fluido, posición, etc.)
- Mayor integración con los distintos niveles de control (capacidad de comunicación)
- Parametrización sencilla

- **BENEFICIOS**

- Control de aceleración y frenado
- Control del par máximo
- Protección integral del motor (sobre-corrientes y temperatura)
- Frenado regenerativo

CONCEPTOS

• MOTOR ASINCRÓNICO – CIRCUITO EQUIVALENTE



Donde

- R_1 : Resistencia del devanado estatórico
- R_2 : Resistencia rotórica referida al estator
- X_1 : Impedancia inductiva estatórica
- X_2 : Impedancia inductiva rotórica referida al estator
- Z_0 : Impedancia equivalente de pérdidas en el hierro y del flujo principal magnético principal

CONCEPTOS

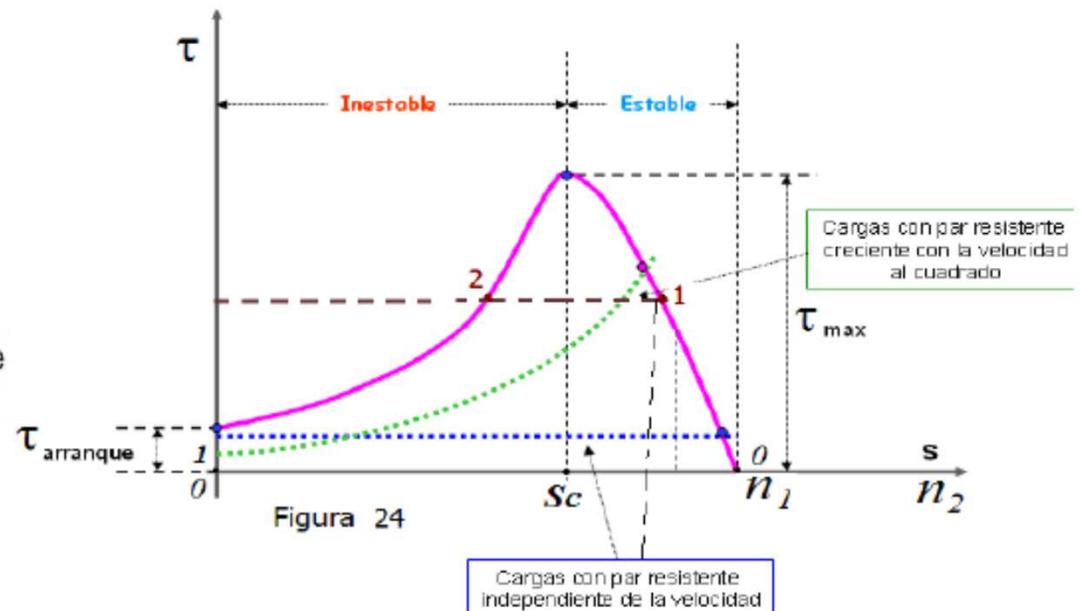
• MOTOR ASINCRÓNICO – TORQUE ELECTROMAGNÉTICO

$$TEM = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2 \frac{R_2}{s}}{2 \cdot \pi \cdot f_s \left[\left(R_1 + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2)^2 \right]} \quad (1)$$

Siendo {
 p: número de pares de polos
 m₁: número de fases
 f_s: frecuencia de la tensión de alimentación U₁ (o frecuencia de sincronismo)

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$$



CONCEPTOS

- MOTOR ASINCRÓNICO – TORQUE MÁXIMO

Nota: La performance más óptima será alcanzada cuando la relación V/I sea ajustada simultáneamente y se mantenga dentro de la misma relación:

$$TEM_{Max} = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_s \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2)^2} \right]}$$

Como :

$$X_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_1 ; X_2 = 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_2$$

Reemplazando en la anterior:

$$TEM_{Max} = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{4 \cdot \pi \cdot f_s \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_s)^2 (L_1 + L_2)^2} \right]}$$

$$TEM_{Max} \cong K \cdot \left(\frac{U_1}{f_s} \right)^2$$

CONCEPTOS

- MOTOR ASINCRÓNICO – TORQUE EN FUNCIÓN DEL RESBALAMIENTO

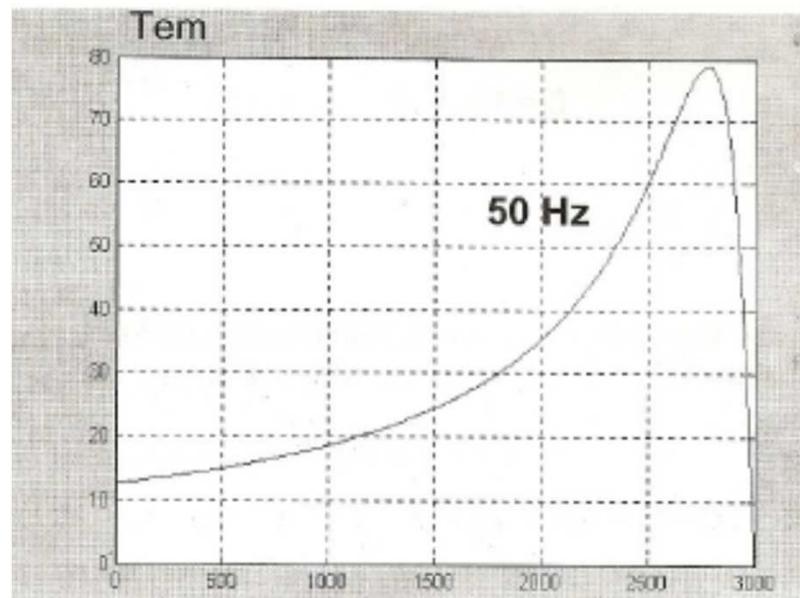
Supongamos tener un motor de 1 par de polos ($p=1$), cuando se lo alimenta con $U_1= 380$ volts con fs_1 de 50 Hz. La relación U_1 / fs_1 será:

$$\frac{U_1}{fs_1} = 7,6$$

$$ns_1 = \frac{60}{p} fs_1 = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ rpm}$$

$$s = \frac{ns_1 - na}{ns_1} \rightarrow na = ns_1 (1 - s)$$

Para $\begin{cases} s=0 \rightarrow na = ns_1 = 3000 \text{ rpm} \\ s=1 \rightarrow na = 0 \text{ rpm} \end{cases}$

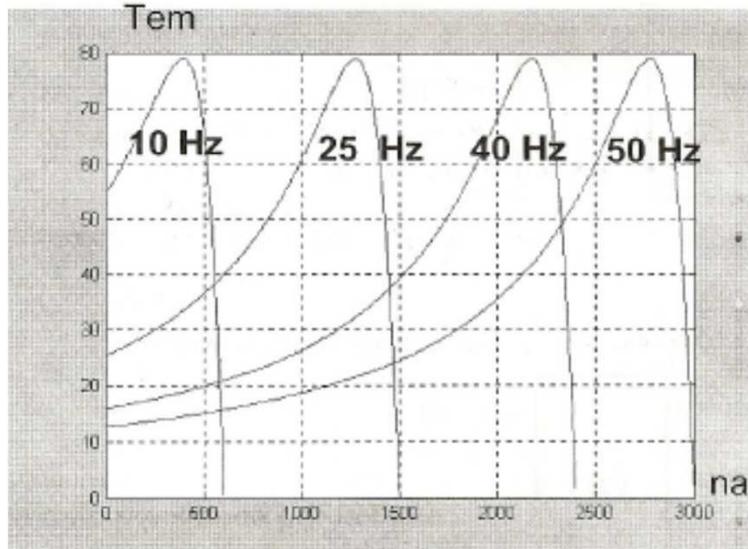


CONCEPTOS

• MOTOR ASINCRÓNICO – TORQUE EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

Si variamos la frecuencia manteniendo el torque electromagnético constante ((relación V/I), podremos obtener una familia de curvas:

A.- Para $f \leq 50$ Hz



B.- Para $f > 50$ Hz

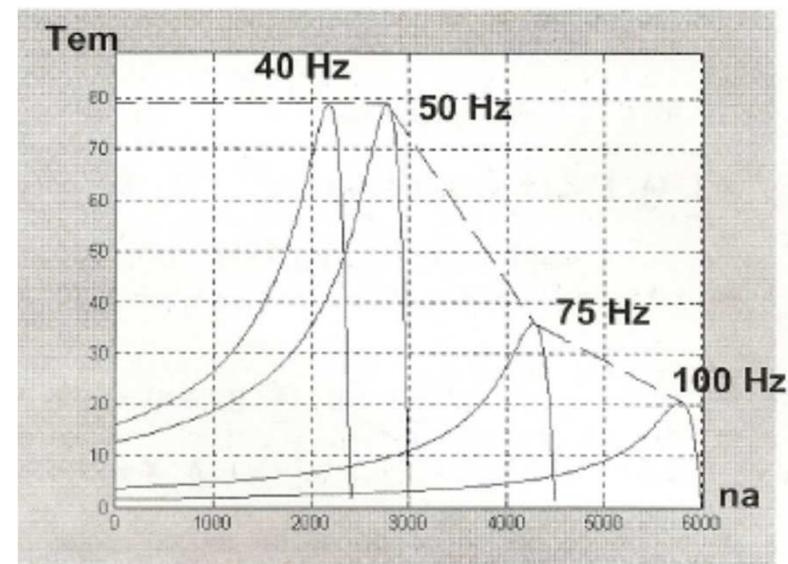
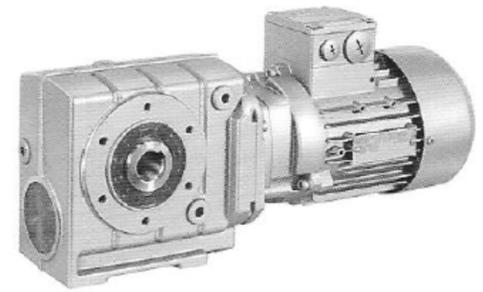
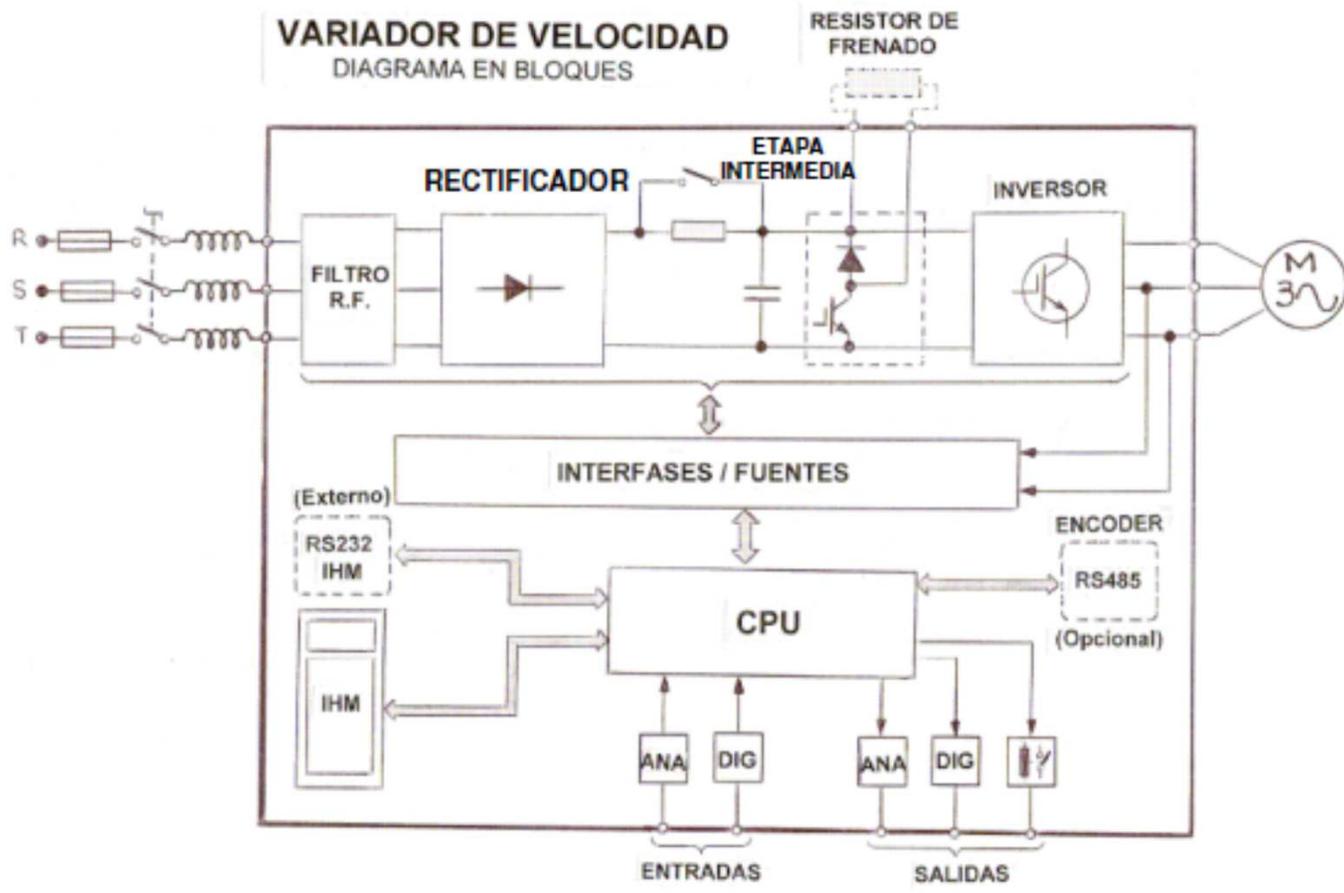
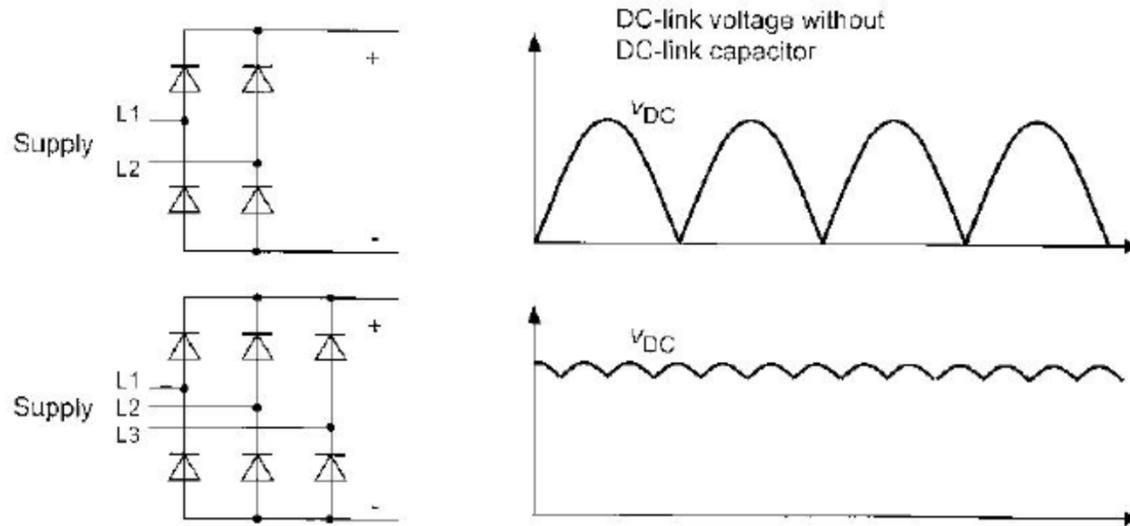


DIAGRAMA EN BLOQUE DEL VARIADOR DE FRECUENCIA



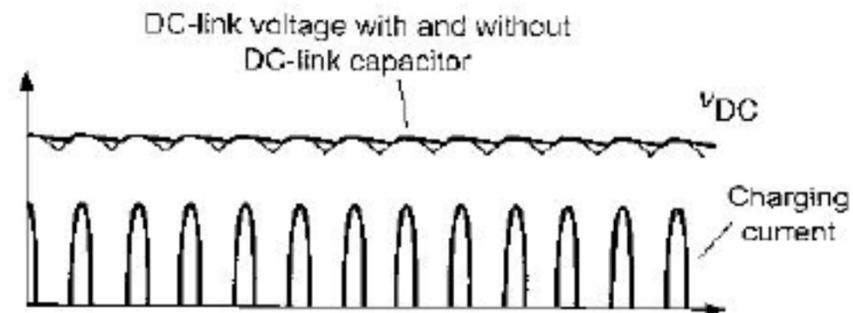
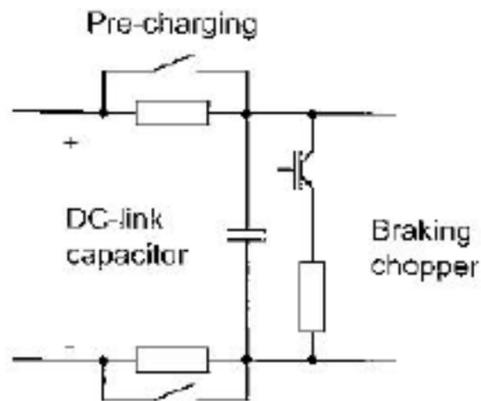
COMPONENTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

- Etapa Rectificadora
 - Rectificador no controlado
 - Rectificador Controlado



COMPONENTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

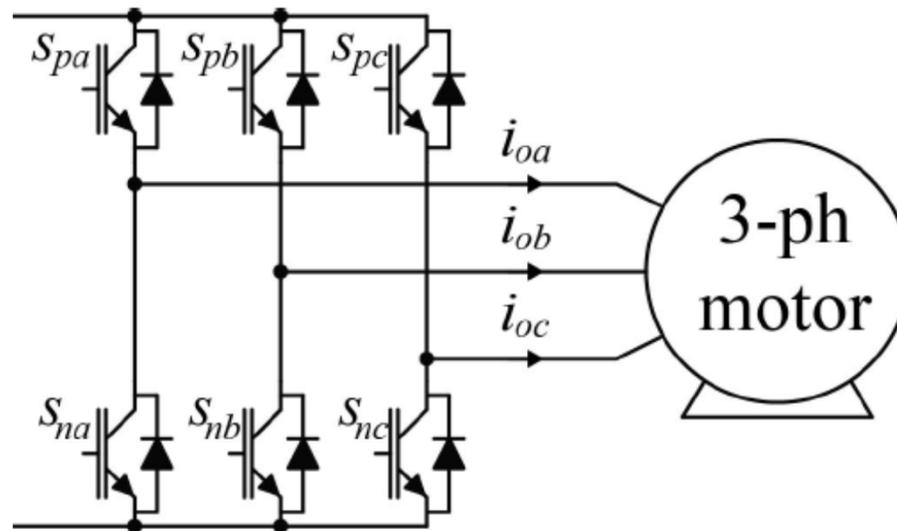
- Etapa Intermedia
 - Filtros (Capacitor + Circuito de Precarga)
 - Resistor de Frenado (Externo o Interno)



COMPONENTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

- Etapa Inversor

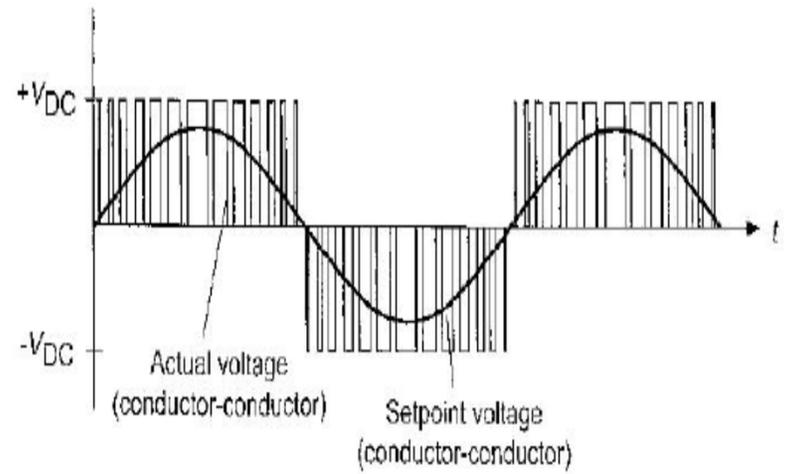
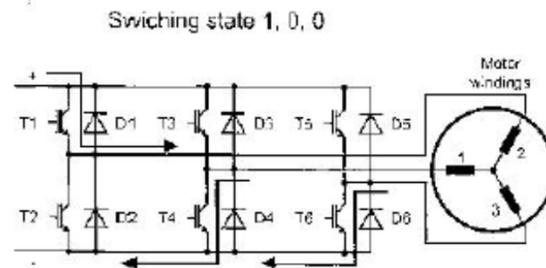
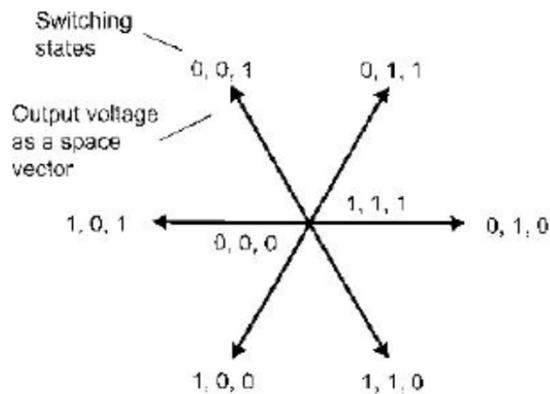
- Llaves electrónicas controladas: Por ej. GTO (Tiristores de apertura controlada), IGBT (Transistor Bipolar de puerta aislada)



COMPONENTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

- Etapa Inversor (PWM Converter)

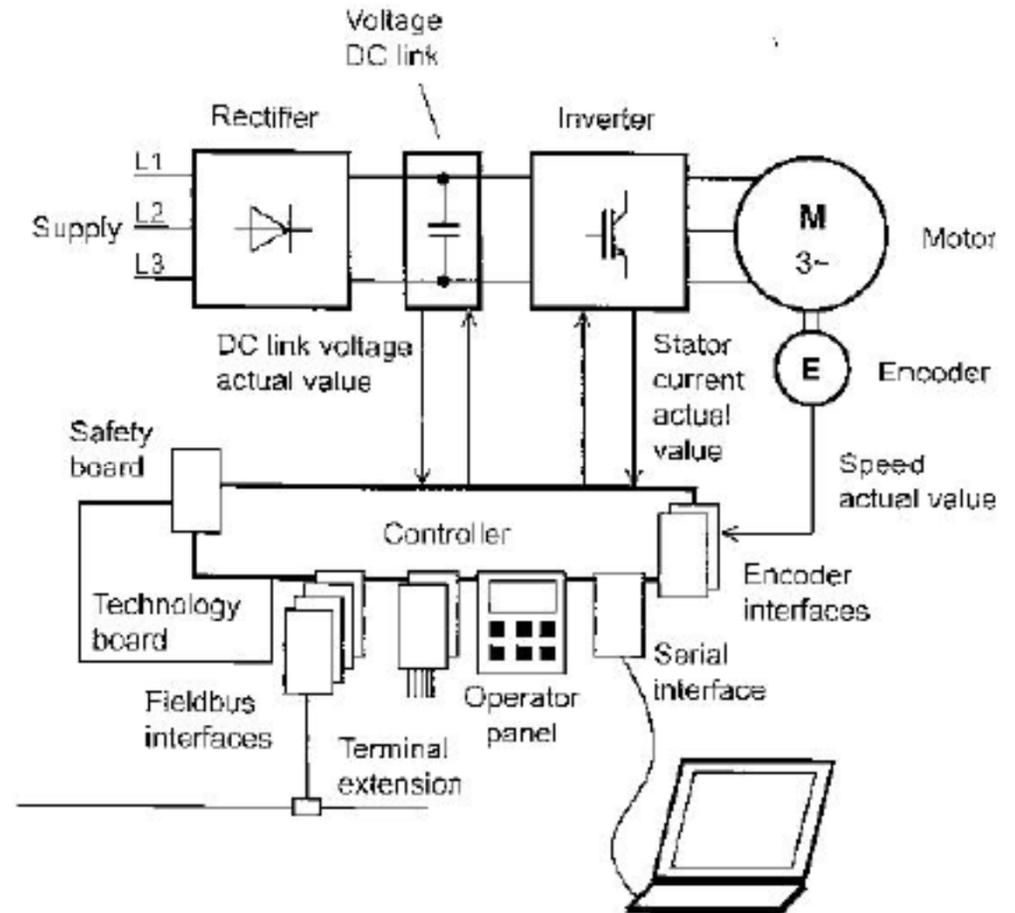
Para crear la forma de onda sinusoidal, los inversores usan el método PWM (Modulación por Ancho de Pulso)



Example for switching state 0, 0, 1	0		0		1	
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	blocked	conducting	blocked	conducting	conducting	blocked

COMPONENTES DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

- Etapa Controladora
 - Procesador: Control de la etapa inversora
 - Protección del motor y variador
 - Interfases (Comunicaciones) y realimentaciones

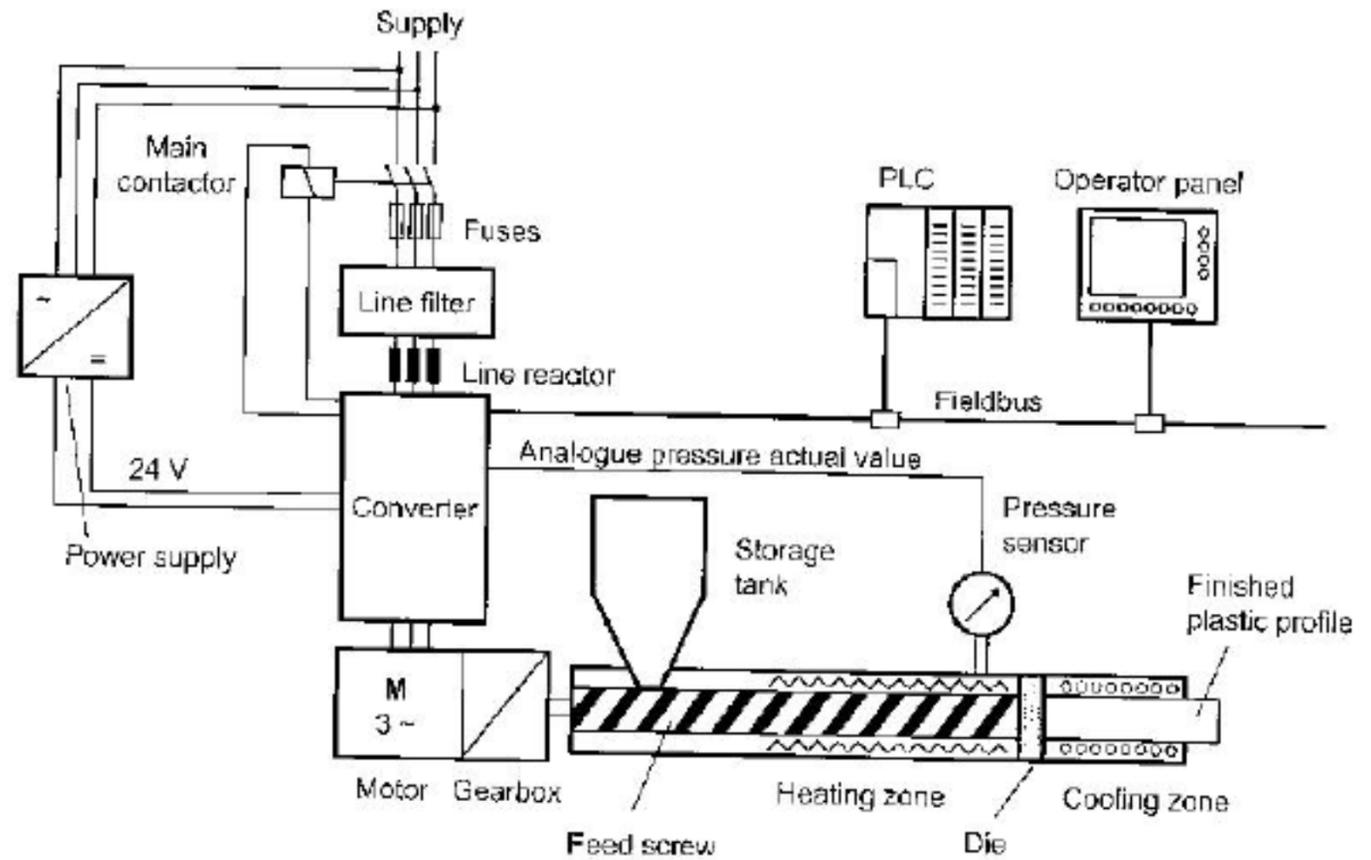


APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

- Control de velocidad en cintas transportadoras
- Control de velocidad en ascensores
- Control de velocidad en movimientos de grúas (traslación y elevación de cargas)
- Control de velocidad en accionamientos de molinos de viento (Yaw y Pitch)
- Control de caudal en bombas centrífugas
- Control de velocidad en mezcladoras
- Control de arranque en compresores
- Control de velocidad en bombas de extracción de petróleo
- Control de velocidad en máquinas de la industria textil
- Control de velocidad en motores de tracción (vehículos eléctricos)
- Control de velocidad en escaleras mecánicas.
- Otros

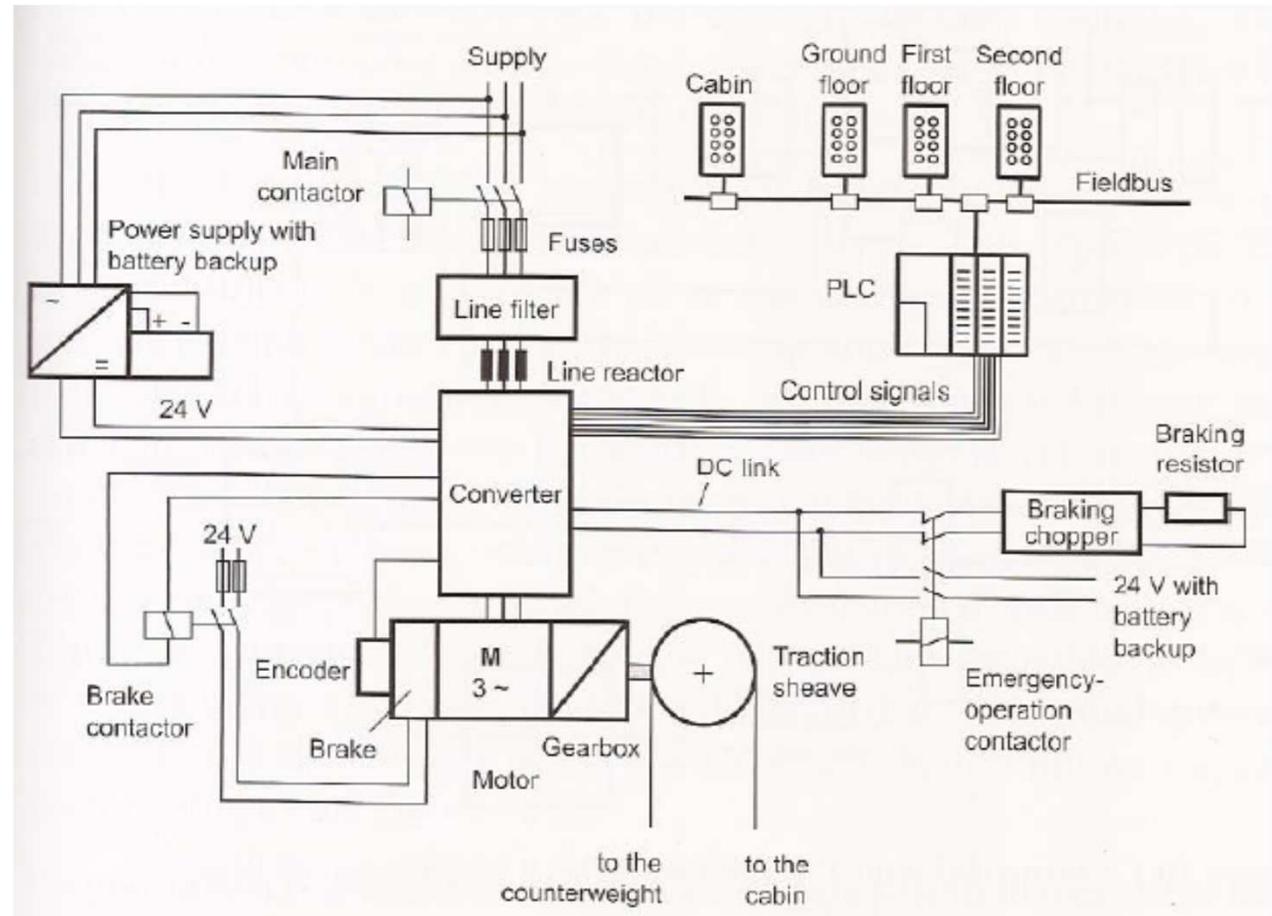
EJEMPLOS

- Control de presión en extrusoras



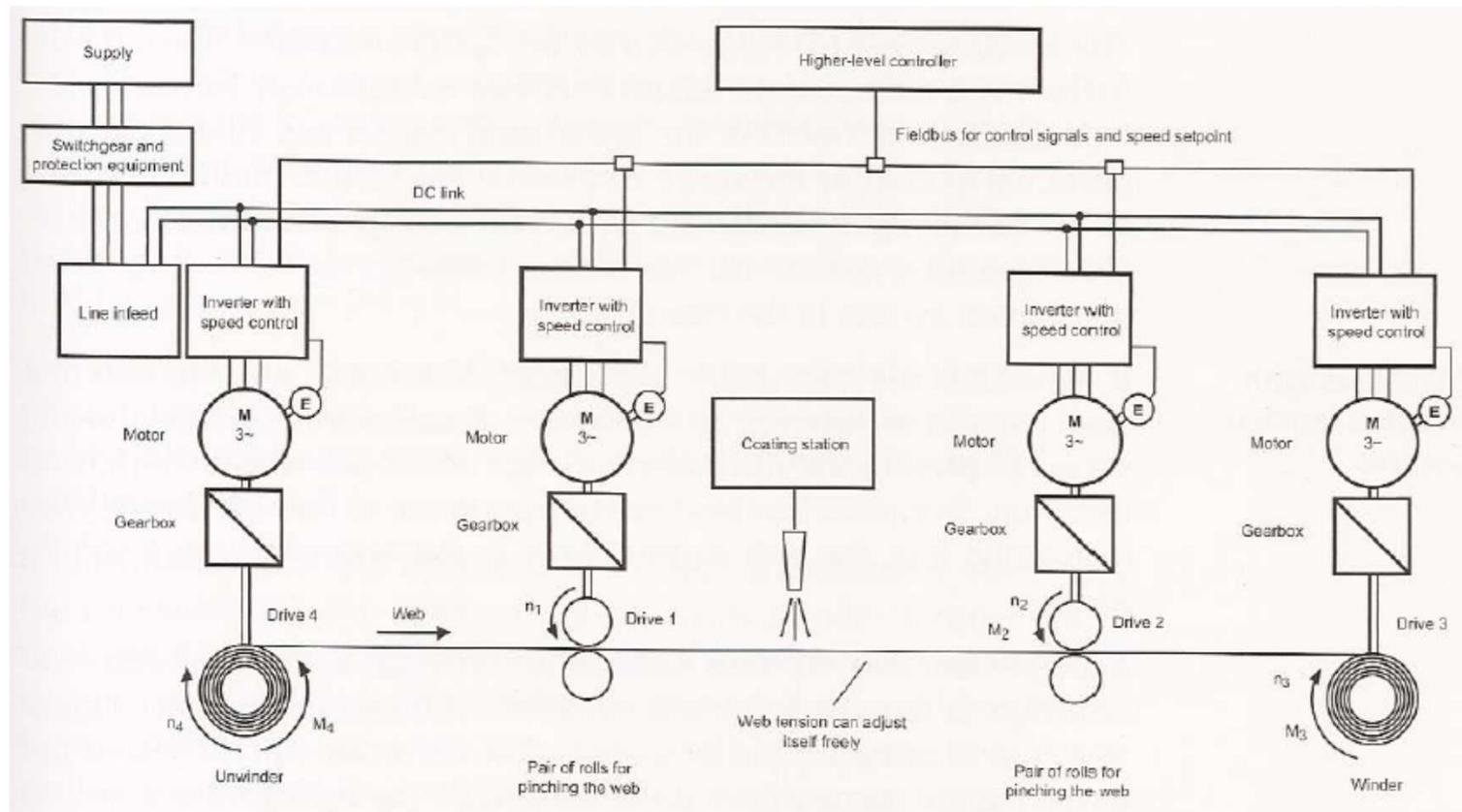
EJEMPLOS

- Control de velocidad en un ascensor



EJEMPLOS

- Control de velocidad en cintra transportadora



BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- MÁQUINAS ELÉCTRICAS: KOSTENKO, PIOTROVSKI (Tomo II)
- ELECTROTECNIA GENERAL Y APLICADA: MOELLER – WERR
- ELECTRICAL DRIVES: SIEMENS (Jens Weidauer, Richard Messer)
- CONTROL OF ELECTRICAL DRIVES: Werner Leonhard
- Apuntes de la Catedra Instrumentación y Control:
VARIADORES DE FRECUENCIA

FIN

Muchas gracias por su
atención