

# MOTORES ELÉCTRICOS

# Bibliografía

- Handbook of Electric Motors. Hamid A. Toliyat y Gerald B. Kliman. CRC Press.
- Electric Motors and their Controls. Tak Kenjo. Oxford Science Publications.
- Accionamientos Eléctricos, Tomo I y II. Jose María Merino Azcárraga. CADEM.

# INDICE

- Campos de Aplicación
- Clasificación de motores
- Standards
- Protección
- Métodos de refrigeración
- Montaje
- Dimensiones
- Prestaciones
- Vida Útil / Ciclos de trabajo
- Selección inicial

# Campos de Aplicación

- Domésticos.
- Automóviles.
- Equipos de Tecnologías de la Información.
- Aplicaciones Industriales y Robots.
- Máquinas de Vending.
- Transporte.
- Juguetes y Entretenimiento.
- Equipos de Visión y Sonido.
- Equipos Médicos

<i>(1) Living</i>	
central air-conditioner	3
refrigerator	2 or 3
coffee mill	1
food processor	1
electronic range	1
egg beater	1
dishwasher	1
vacuum cleaner	2
hair-driers (2)	2
electric razor	1
electric meter	1
ceiling fans	5
kitchen ventilator	1
toilet ventilator	2
gardening machines	3

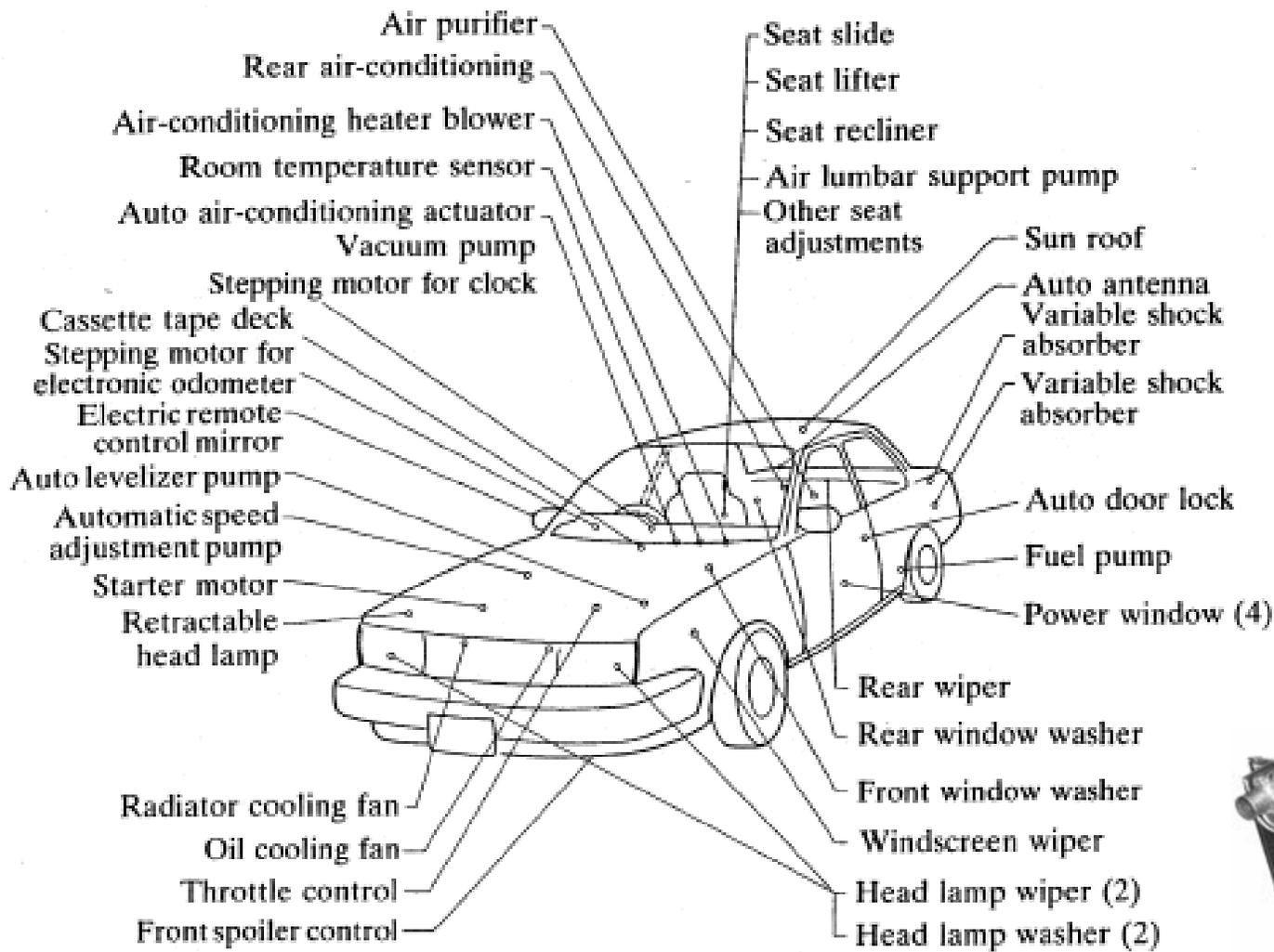
<i>(2) Clothes</i>	
sewing machine	1 or 2
washer/drier	3

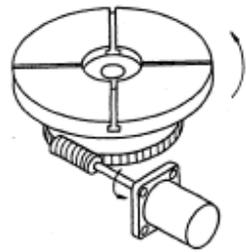
<i>(3) Timepieces</i>	
clocks	8
watches	4

<i>(4) Amusements/hobbies</i>	
video recorder	3
record player	3
CD player	3
cameras	4
radio-controlled models	4
power tools	2

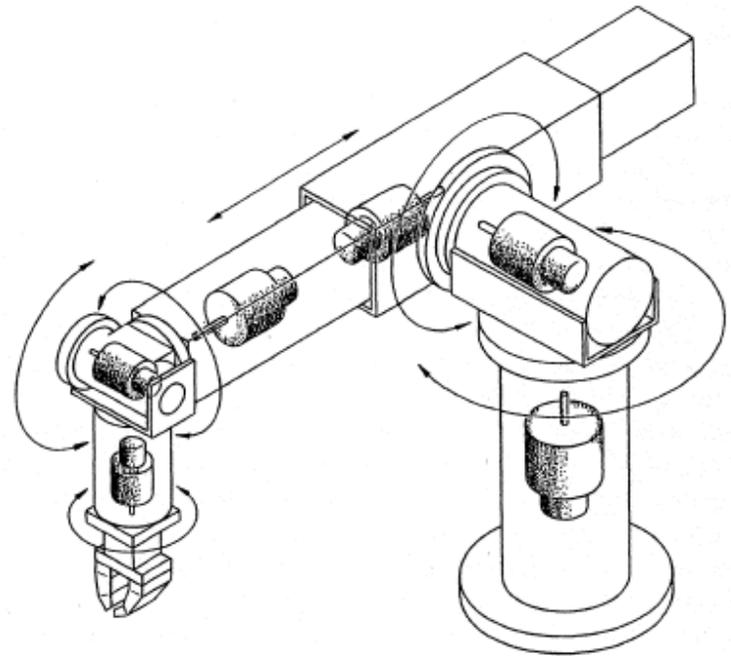
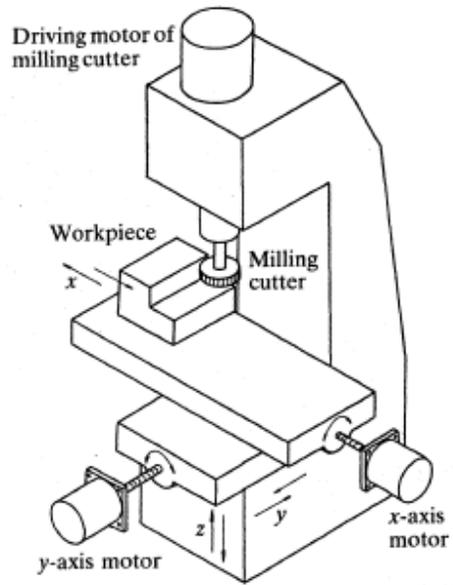
<i>(5) Personal computers</i>	
desk-top computer	
fan motor	1
hard disk drive	2
floppy disk drive	2
printer	4
lap-top computer	
fan motor	1
floppy disk drives	4

<i>(6) Study appliances</i>	
photocopying machine	1
pencil sharpener	1
facsimile machine	3

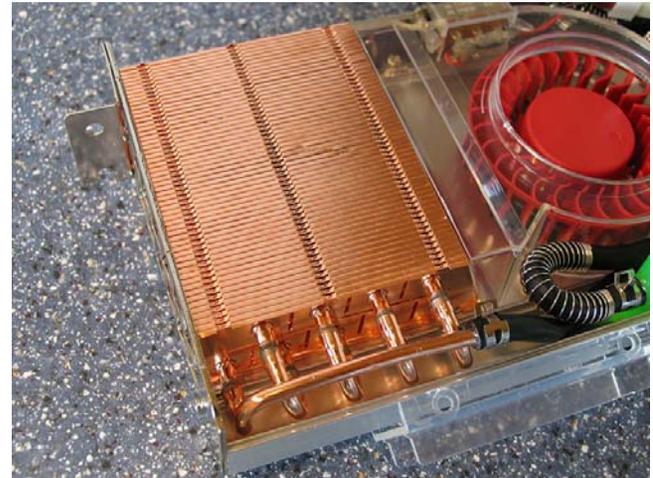
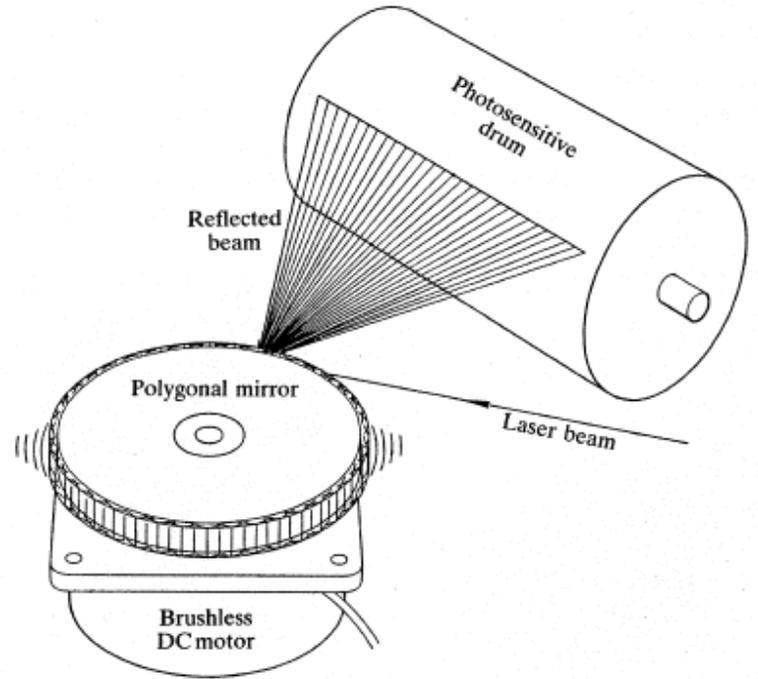
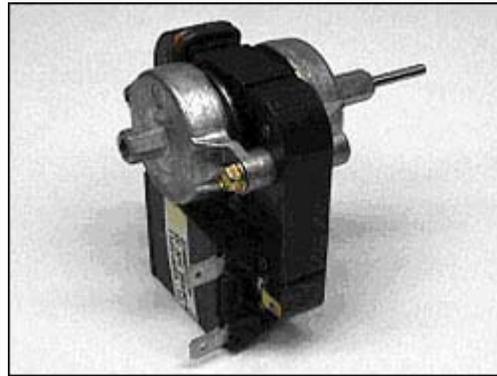




Index table







# Tipos de Motores

- Corriente Alterna
  - Monofásicos
  - Polifásicos
    - Rotativos
      - Motores Síncronos
      - Motores Asíncronos
        - » De Jaula
        - » De Anillos Rozantes
    - Lineales

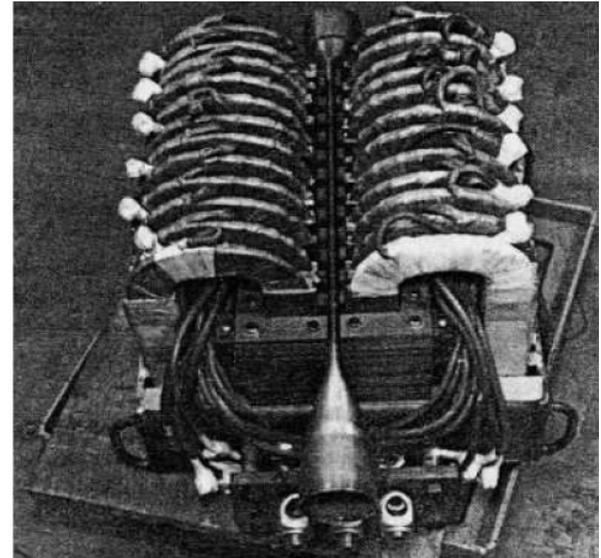


# Tipos de Motores

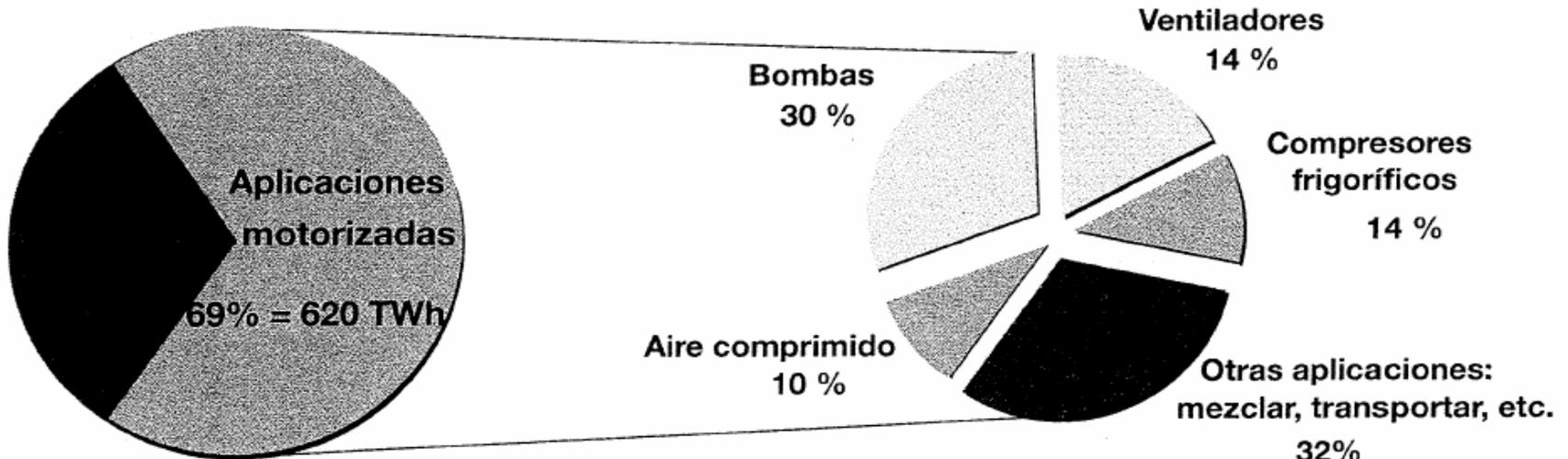
- Corriente Continua:
  - Excitación Derivación.
  - Excitación Serie.
  - Excitación Compuesta.
  - De imanes permanentes.
  - Sin escobillas.

# Tipos de Motores

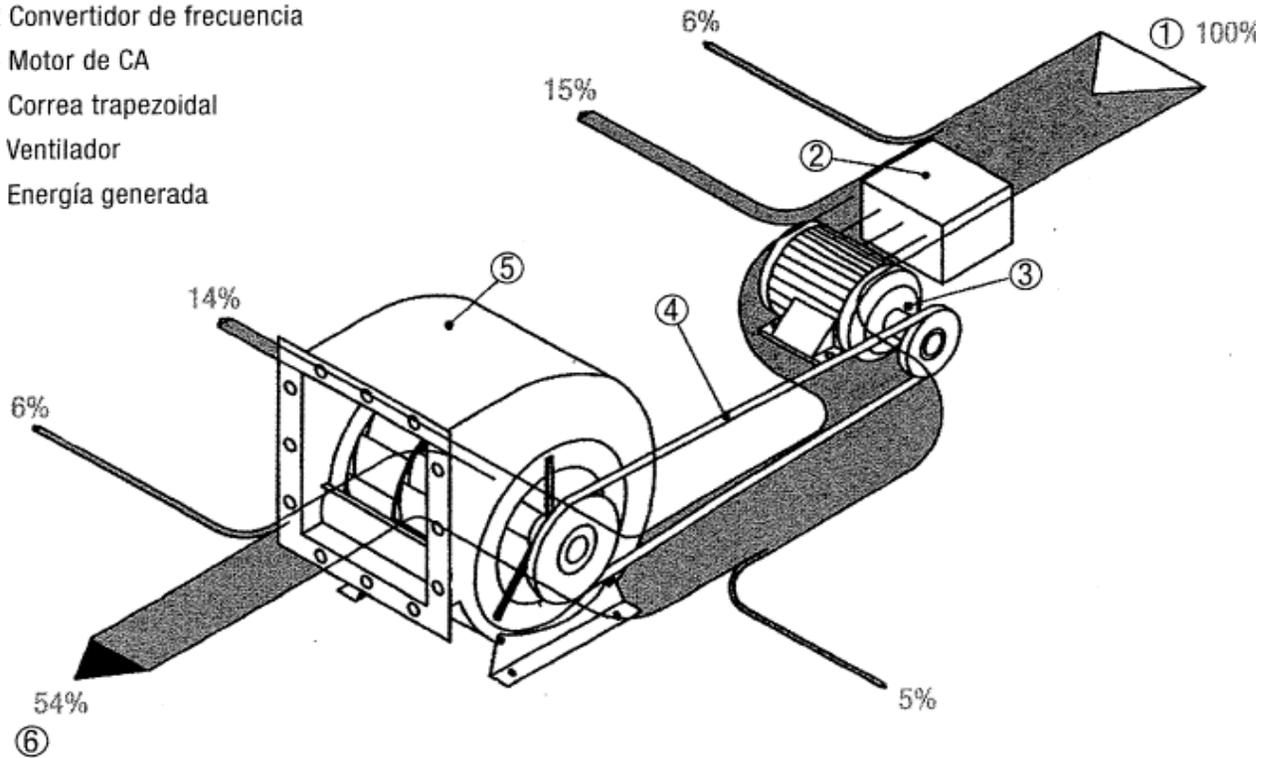
- Motores Especiales:
  - Motores Paso a Paso
  - Motores de Reluctancia
  - Motores Magnetohidrodinámicos
  - Motor Universal
  - Motores de 400 Hz



# Motor Asíncrono



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



# STANDARDS

- Comunicación entre fabricantes y usuarios.
- Standarización.
- Organizaciones:
  - UNE
  - IEC
  - NEMA

# Protección

The IP Code indicates the degree of protection provided by enclosures for electrical equipment

The first numeral indicates protection of persons against access to dangerous parts and protection of internal equipment against the ingress of solid foreign objects

The second numeral indicates protection of internal equipment against harmful ingress of water

IP

First Numeral	Description	Second Numeral	Description
X	Protection unspecified (untested)	X	Protection unspecified (untested)
0	No special protection provided	0	No special protection provided
1	Protection of hand against accidental access to dangerous parts, and protection of equipment against objects larger than 50 mm	1	Protection against drops of water falling vertically
2	Protection of fingers against access to dangerous parts, and protection of equipment against objects larger than 12 mm	2	Protection against drops of water falling vertically when the object is tilted by up to 15° from its normal position (in any direction)
3	Protection against objects larger than 2.5 mm (e.g. tools, wires)	3	Protection against spraying water at up to 60° from the vertical
4	Protection against objects larger than 1 mm (e.g. fine tools, wires)	4	Protection against splashing and spraying water from all practicable directions
5	Protection against entry of dust in sufficient quantity to interfere with satisfactory operation of equipment	5	Protection against a low pressure jet of water from all practicable directions
6	Complete protection against entry of dust	6	Protection against heavy seas or a strong jet of water from all practicable directions
		7	Protection against immersion
		8	Protection against submersion (less subject to agreement, but no less severe than numeral 7)

\* The dimension applies to the smallest of three mutually perpendicular dimensions of the object against which protection is provided.



# Métodos de Refrigeración

- CEI 60034-6
- IC 8 A 1 W 7
  1. [8] Disposición del circuito
  2. [A] Refrigerante primario
  3. [1] Procedimiento de impulsión del refrigerante primario
  4. [W] Refrigerante secundario
  5. [7] Procedimiento de impulsión del refrigerante secundario

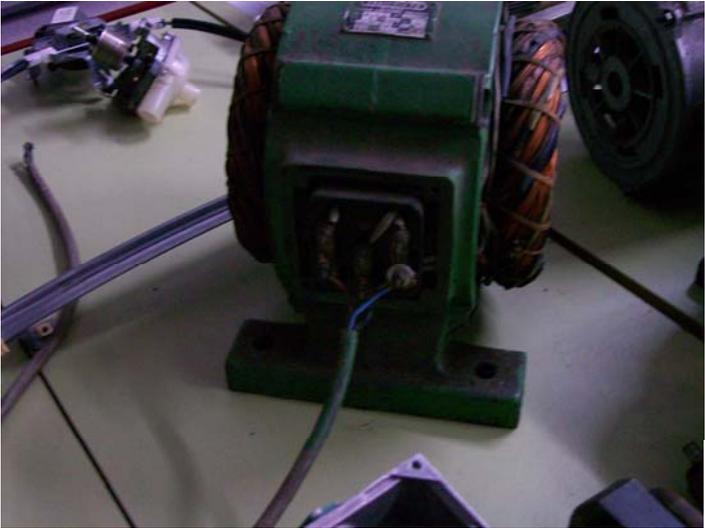
# Métodos de Refrigeración

**Table 3.2** Coolant Circuit Arrangement

Characteristic numeral	Brief description	Definition
0	Free circulation	The coolant is freely drawn directly from the surrounding medium, cools the machine, and then freely returns directly to the surrounding medium (open circuit)
1	Inlet pipe or inlet duct circulated	The coolant is drawn from a medium remote from the machine, is guided to the machine through an inlet pipe or duct, passes through the machine and returns directly to the surrounding medium (open circuit)
2	Outlet pipe or outlet duct circulated	The coolant is drawn directly from the surrounding medium, passes through the machine and is then discharged from the machine through an outlet pipe or duct to a medium remote from the machine (open circuit)
3	Inlet and outlet pipe or duct circulated	The coolant is drawn from a medium remote from the machine, is guided to the machine through an inlet pipe or duct, passes through the machine and is then discharged from the machine through an outlet pipe or duct to a medium remote from the machine (open circuit)
4	Frame surface cooled	The primary coolant is circulated in a closed circuit in the machine and gives its heat through the external surface of the machine (in addition to the heat transfer via the stator core and other heat conducting parts) to the final coolant, which is the surrounding medium. The surface may be plain or ribbed, with or without an outer shell to improve the heat transfer.
5	Integral heat exchanger (using surrounding medium)	The primary coolant is circulated in a closed circuit and gives its heat via a heat exchanger, which is built into and forms an integral part of the machine, to the final coolant, which is the surrounding medium
6	Machine-mounted heat exchanger (using surrounding medium)	The primary coolant is circulated in a closed circuit and gives its heat via a heat exchanger, which is mounted directly on the machine, to the final coolant, which is the surrounding medium
7	Integral heat exchanger (using remote medium)	The primary coolant is circulated in a closed circuit and gives its heat via a heat exchanger, which is built into and forms an integral part of the machine, to the secondary coolant, which is the remote medium
8	Machine-mounted heat exchanger (using remote medium)	The primary coolant is circulated in a closed circuit and gives its heat via a heat exchanger, which is mounted directly on the machine, to the secondary coolant, which is the remote medium
9	Separate heat exchanger (using surrounding or remote medium)	The primary coolant is circulated in a closed circuit and gives its heat via a heat exchanger, which is separate from the machine, to the secondary coolant, which is either the surrounding or the remote medium

# Métodos de Refrigeración

- [A] Aire
- [F] Freon
- [H] Hidrógeno
- [N] Nitrógeno
- [C] Dióxido de Carbono
- [W] Agua
- [U] Aceite
- [S] Cualquier otro elemento refrigerante
- [Y] Refrigerante todavía no seleccionado



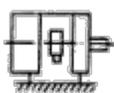
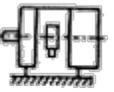
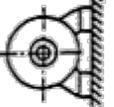
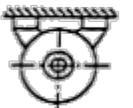
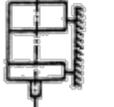
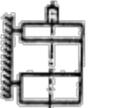


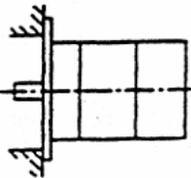
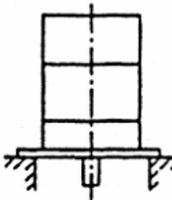
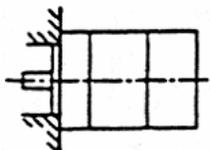
# Montaje



- Patas

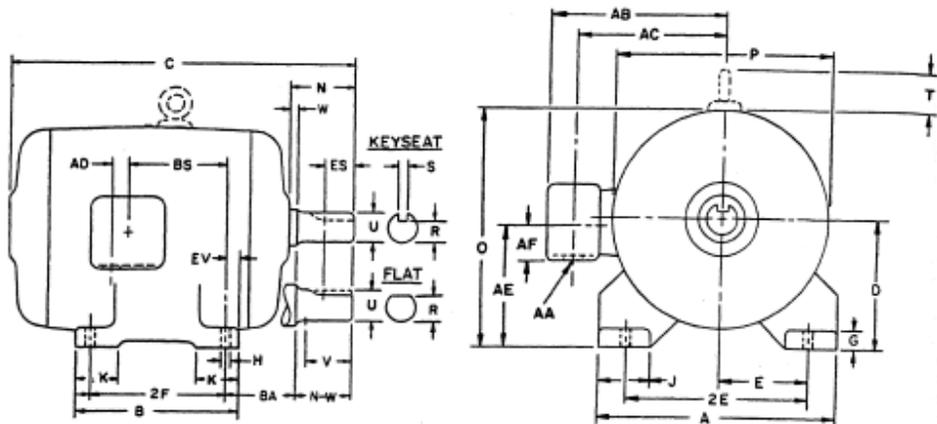
- Bridas

	NEMA	IEC, Code I	IEC, Code II
	F-1	IMB3	IM 1001
	F-2	IMB3	IM 1001
	W-1 to 4	IMB7	IM 1061
	C-1 or 2	IMB8	IM 1071
	W-6 or 7	IMV5	IM 1011
	W-5 or 8	IMV6	IM 1031

	NEMA	IEC, Code I	IEC, Code II
	Flange Mounted (usually 'D' flange)	IMB5	IM3001
	Vertical (usually 'P' flange)	IMV1	IM3011
	Flange Mounted (usually 'C' flange)	IMB14	IM3601

# Dimensiones

- Standardizadas -> Permite el intercambio entre distintas marcas
- Toda la información necesaria para acoplar el motor mecánicamente a la máquina accionada



# Prestaciones

- Curva Característica Mecánica

- Potencia nominal

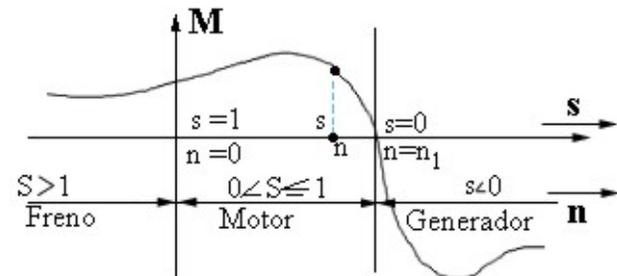
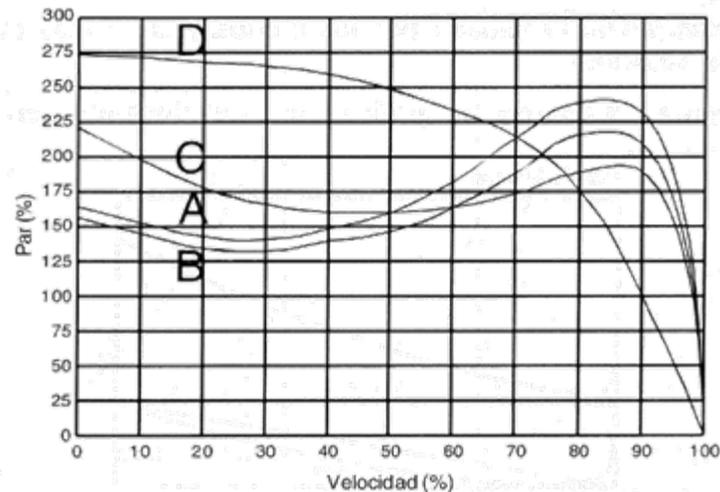
- Par:

- Nominal

- De Arranque

- Pull-up (mínimo par desarrollado durante el arranque)

- Máximo



# Prestaciones

- Corriente:
  - Nominal
  - De Arranque
- Incremento de Temperatura
- Ciclos de Trabajo
- Rendimiento

# 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

# Vida Útil / Ciclos de trabajo

- Componentes con vida limitada:
  - Bobinados
  - Cojinetes o rodamientos
  - Anillos rozantes / Colectores de delgas
  - Paquete magnético



# Tipos de Servicio

- Descripción temporal de la potencia mecánica ( $P(t)$ ) y velocidad ( $n(t)$ ) en el eje
- Las pérdidas del motor se transforman en calor
- Capacidad de disipación determinada → Incremento de temperatura de los bobinados (elemento + sensible)
- La temperatura no debe sobrepasar los límites de la clase térmica de los aislamientos de las bobinas del motor.

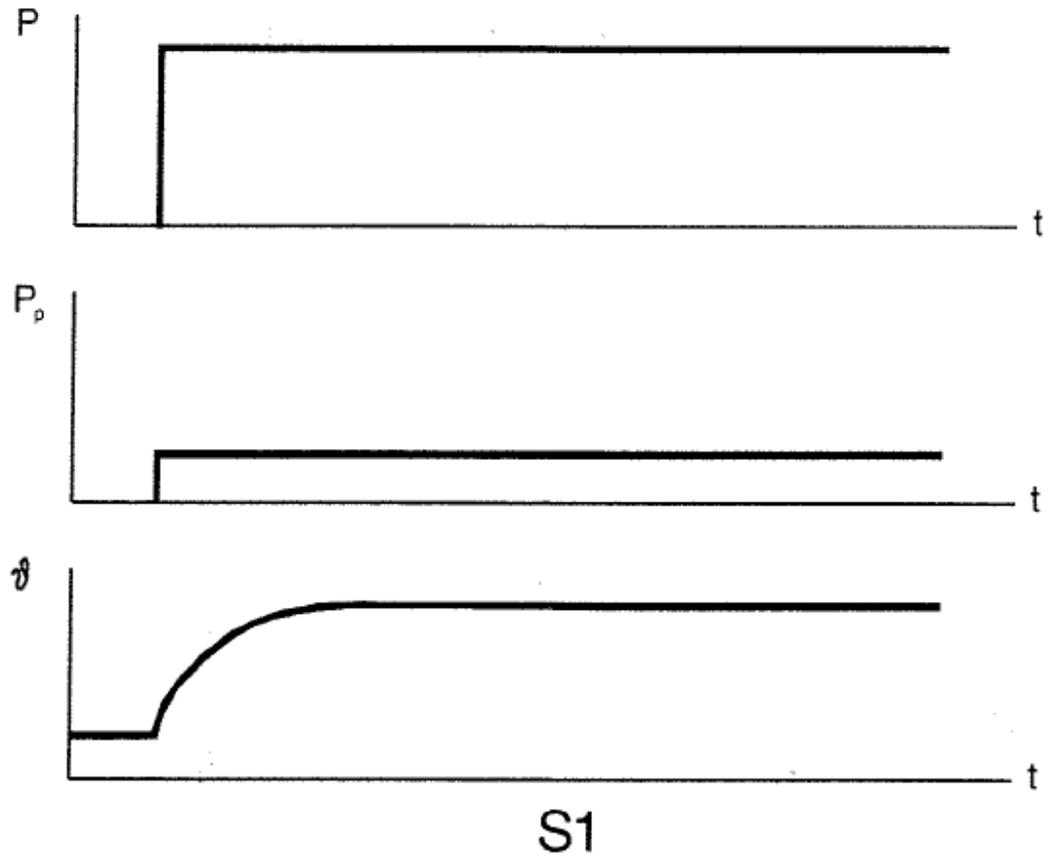


# Tipos de Aislamiento

CLASE DE AISLAMIENTO	MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN		TEMPERATURA MÁXIMA DE EMPLEO (°C)
	MATERIAL AISLANTE	MEDIO AGLOMERANTE O IMPREGNANTE	
E	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esmaltes de acetato de polivinilo, poliuretano.</li> <li>- Aglomerado con celulosa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melamina con formaldehido.</li> <li>- Fenol con formaldehido.</li> </ul>	120 °C
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fibras de vidrio.</li> <li>- Productos de mica.</li> <li>- Esmaltes de politereftalatos</li> <li>- Films de policarbonato.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Goma laca</li> <li>- Compuestos asfálticos o bituminosos.</li> <li>- Resinas alkídicas.</li> <li>- Resinas poliester.</li> <li>- Melamina y formaldehido.</li> </ul>	130 °C
F	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fibras de vidrio.</li> <li>- Productos de mica.</li> <li>- Esmaltes de poliamidas aromáticas.</li> <li>- Films de poliester-imida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resinas epoxi.</li> <li>- Resinas de poliuretano.</li> <li>- Resinas de silicona.</li> </ul>	155 °C
H	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fibras de vidrio</li> <li>- Films de poliamidas aromáticas y de poliamidas.</li> <li>- Politetrafluoroetileno.</li> <li>- Caucho silicona</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resinas de silicona</li> </ul>	180 °C
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Porcelana, mica, cuarzo, vidrio u otro material cerámico.</li> <li>- Politetrafluoroetileno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resinas de silicona cuando sea preciso.</li> </ul>	> 180 °C

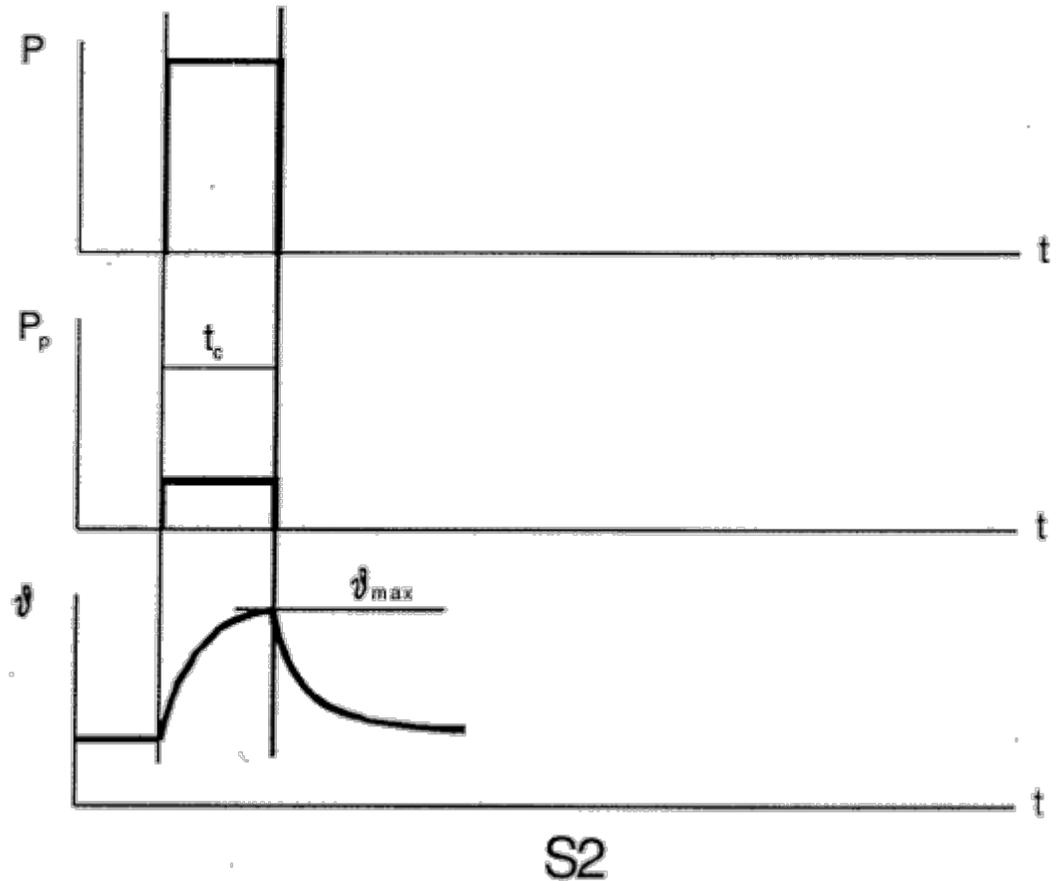
# Tipos de Servicio Normalizados

- Servicio permanente S1:  
Carga constante,  
Duración suficiente  
para alcanzar el  
equilibrio térmico.



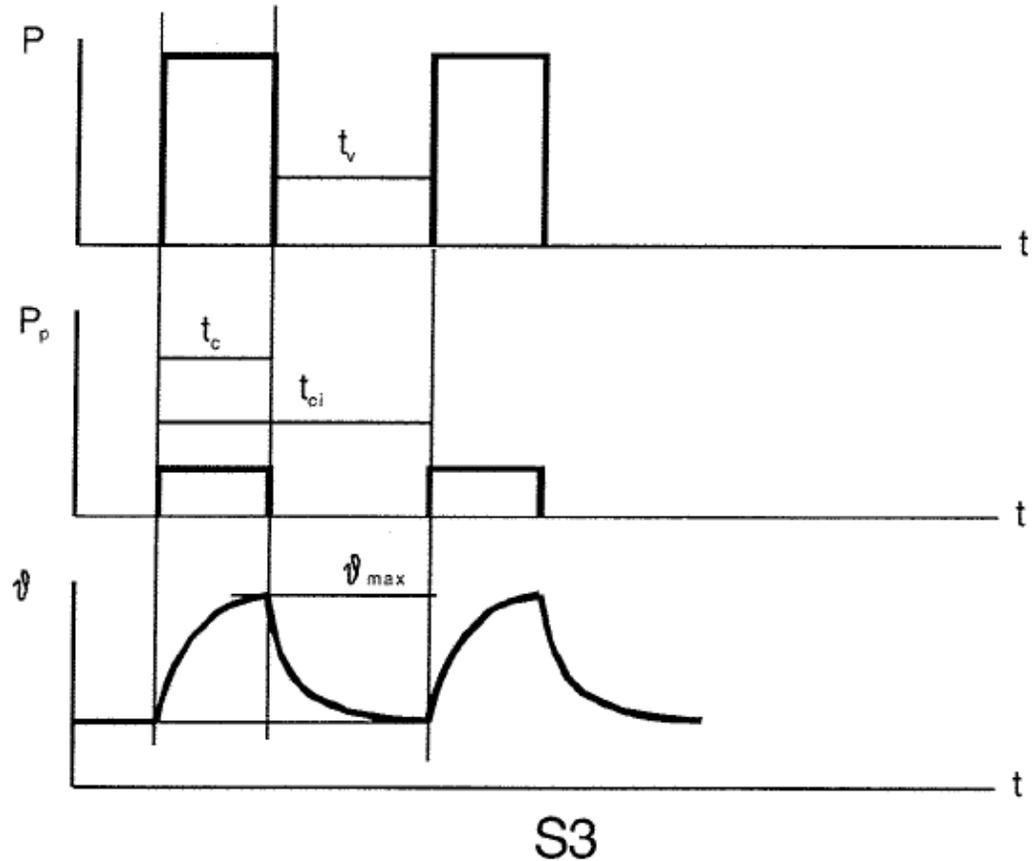
# Tipos de Servicio Normalizados

- Servicio de corta duración S2: Carga constante, Duración no suficiente para alcanzar el equilibrio térmico. Parada muy larga



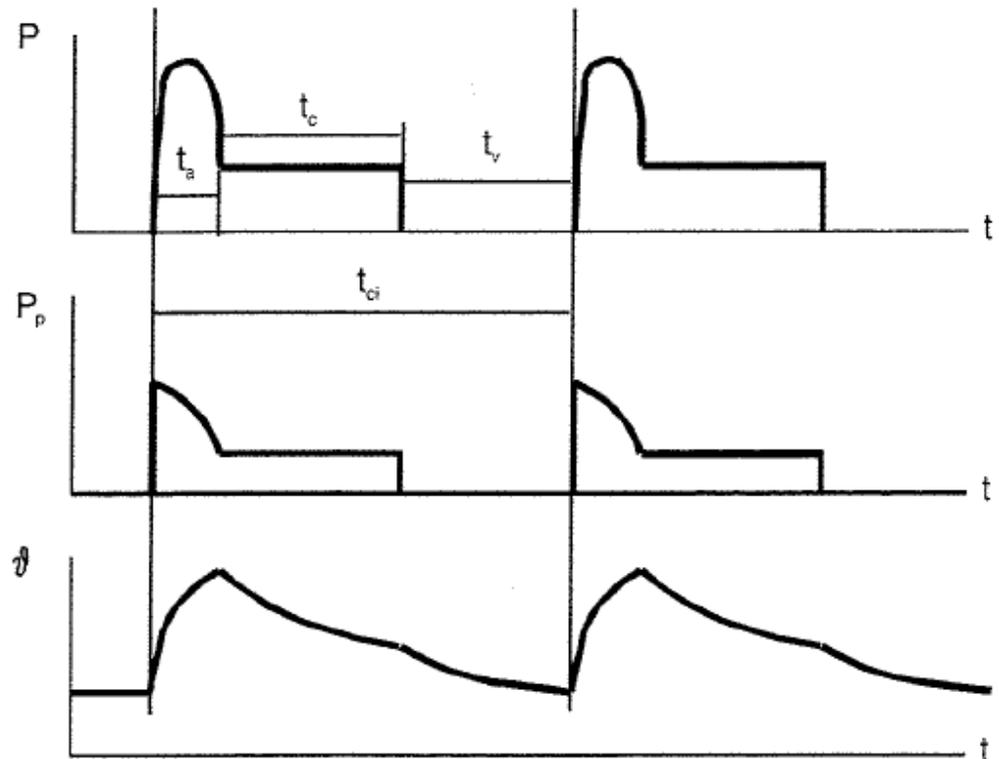
# Tipos de Servicio Normalizados

- Servicio intermitente sin influencia del arranque S3:



# Tipos de Servicio Normalizados

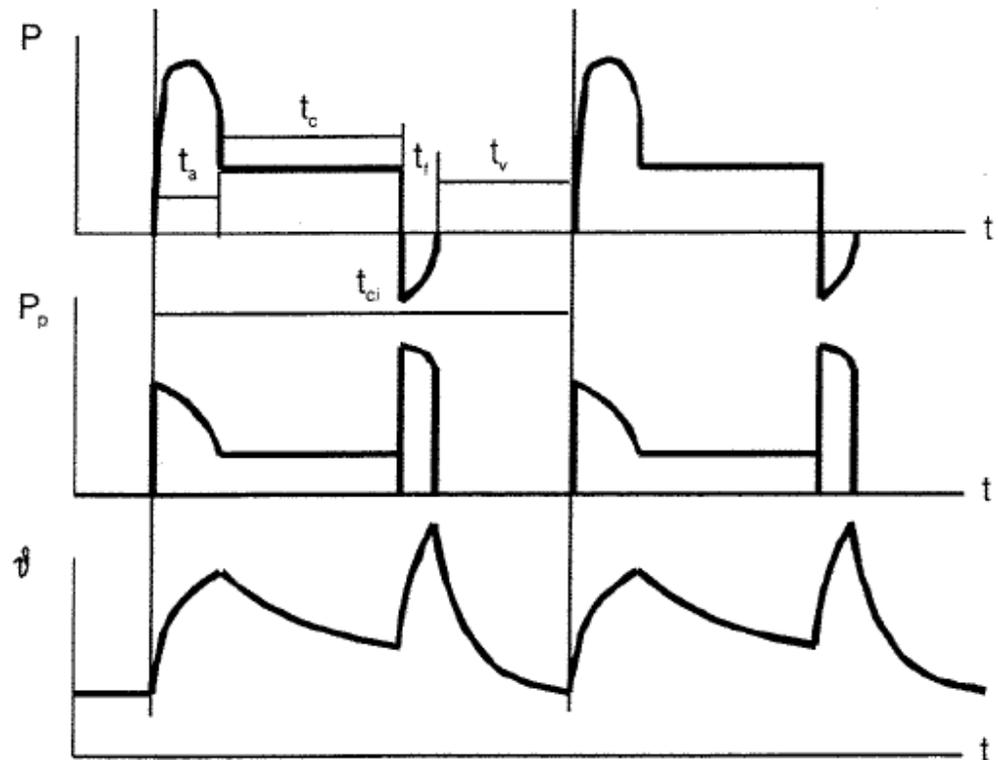
- Servicio intermitente con influencia del arranque S4: Las pérdidas y su duración hacen que la fase de arranque no pueda ignorarse



S4

# Tipos de Servicio Normalizados

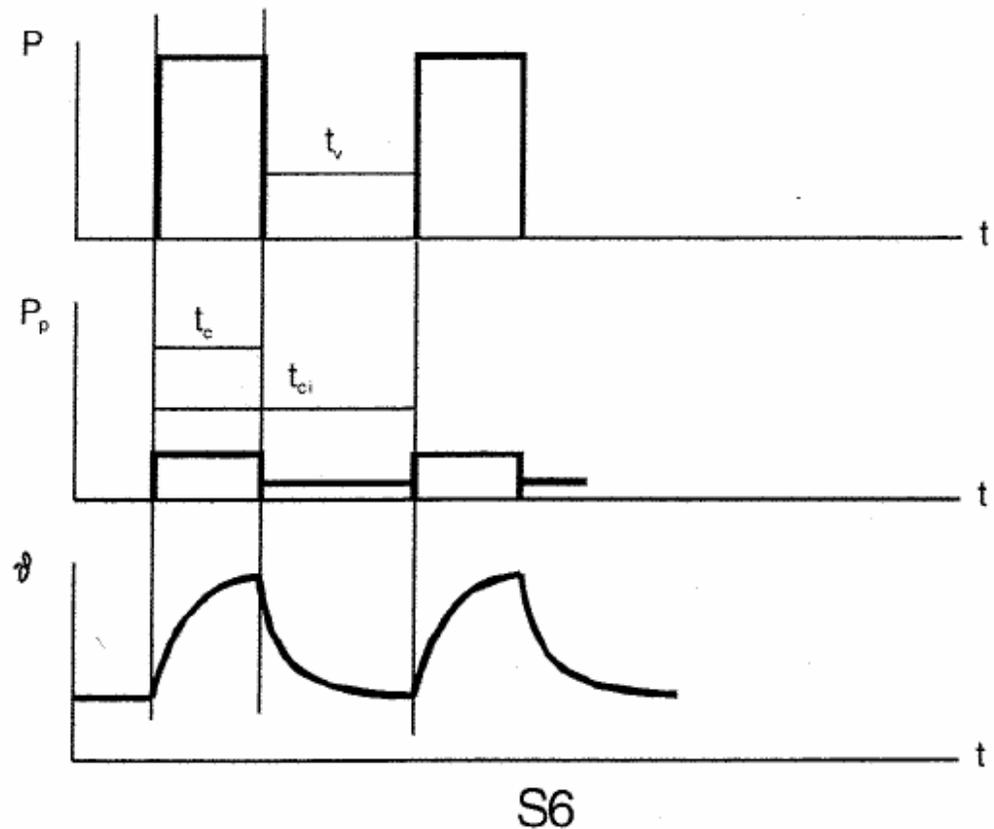
- Servicio intermitente con influencia de frenado y arranque  
S5: Frenado eléctrico con devolución del potencia a la red



S5

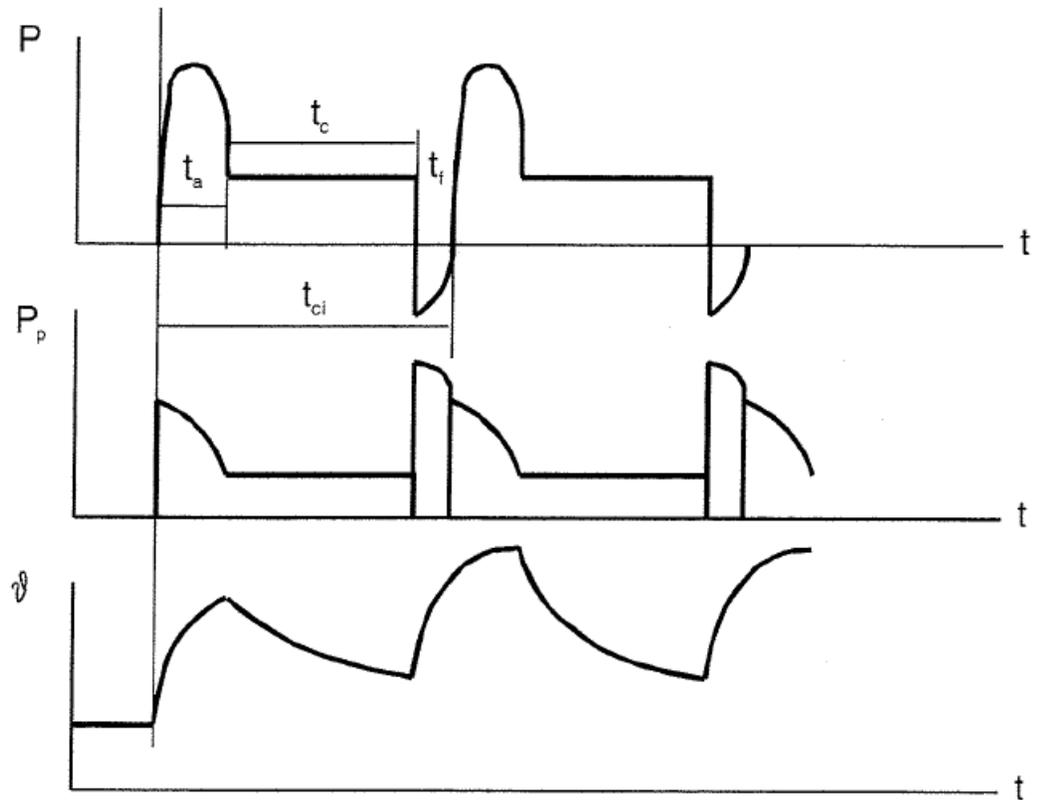
# Tipos de Servicio Normalizados

- Servicio intermitente con giro permanente y ciclos alternados de la máquina en carga y en vacío S6:



# Tipos de Servicio Normalizados

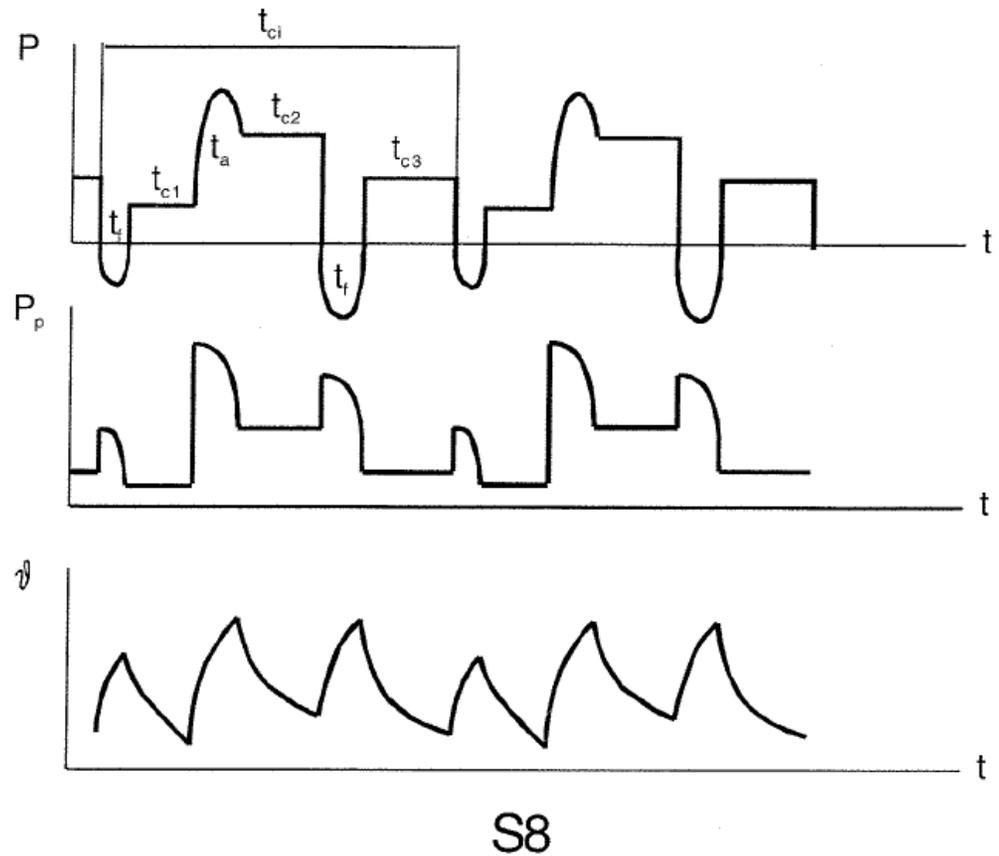
- Servicio ininterrumpido con arranques y frenados eléctricos  
S7



S7

# Tipos de Servicio Normalizados

- Servicio ininterrumpido con variaciones periódicas de velocidad S8



# 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 máquinas	Irregularidad de par resistente				Frecuencia de arranques			Inercia			
	1 Poco oscilante 2 Muy oscilante 3 Golpes de par 4 Fuertes golpes de par				1 Ocasionales 2 Frecuentes 3 Muy frecuentes			1 Pequeña 2 Media 3 Grande 4 Muy grande			
	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
Ventiladores de potencia pequeña, bombas centrífugas, cintas transportadoras ligeras, escaleras mecánicas	X				X			X			
Ventiladores, elevadores, turbocompresores, cintas alimentadoras	X				X				X		
Máquinas textiles ligeras, mezcladoras	X				X				X		
Prensas rotativas, accionamientos de ejes de máquinas herramientas, máquinas de papel	X				X				X		
Vehículos de transporte de personas	X					X			X		
Mezcladoras hormigón, tambores secado, bombas alternativas, compresores de baja irregularidad, molinos de cemento, sierras	X		X		X				X		
Lavadoras, ejes de barcos, extrusoras, hornos giratorios	X		X		X				X		
Caminos de rodillos de trenes de laminación	X		X		X				X		
Mecanismos de elevación y giro en grúas, manipuladores, trenes de laminación reversibles, líneas de corte de chapa, bobinadoras de cable	X		X			X			X		
Astilladoras de madera, bombas alternativas de alta irregularidad, molinos de martillos, accionadores de válvulas		X		X	X					X	
Cilindros de secado y alisado, calandras de papel, martillos, laminadores de goma, sierras circulares		X		X	X					X	
Prensas, mecanismos de translación de grúas		X		X		X				X	
Bobinadoras de papel, sierras transversales		X		X		X				X	
Machacadoras de piedra, compresores alternativos sin volante		X		X	X						X
Caminos de rodillos pesados, trenes <i>blooming-slabbing</i> , centrifugadoras de azúcar		X		X	X						X
Máquinas de envasar, máquinas de embotellar	X						X	X			
Accionamientos de posición de máquina herramienta, aproximación de rodillos de laminar	X						X	X			

# 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

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

# Cálculos

- Potencia

- Movimiento Rotativo

$$P = 0,1047 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(\text{Par útil}) \cdot n}{\eta} \text{ [kW]}$$

- Bomba Centrífuga

$$P = 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Q \cdot (\text{Densidad}) \cdot h}{\eta} \text{ [kW]}$$

- Ventilador

$$P = 9,81 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{Q \cdot (\text{Presión})}{\eta} \text{ [kW]}$$