

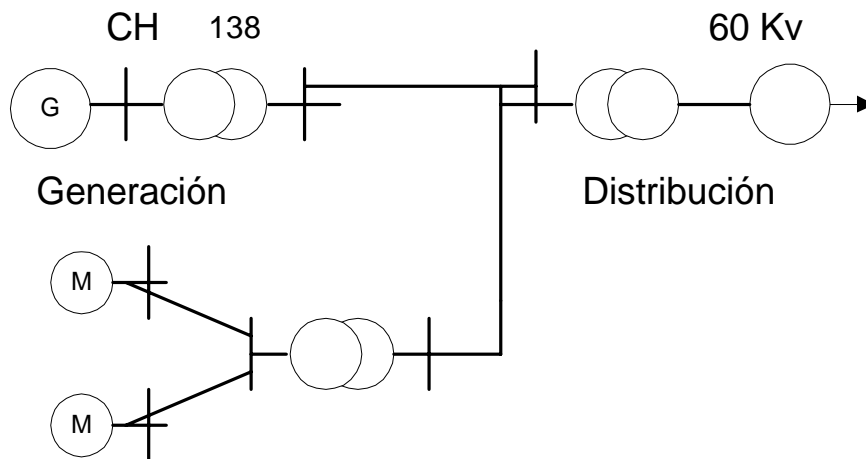
# MÁQUINAS ELÉCTRICAS

## 1. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

### 1.1. CLASIFICACIÓN POR USOS

Las máquinas eléctricas de acuerdo a sus usos se dividen en:

- A. Generadores.-** Transforman la energía mecánica en eléctrica. Se instalan en las centrales eléctricas (CC.EE.) y en los diferentes equipos de transporte como autos, aviones, barcos, etc. En las CC.EE. los generadores son accionados mecánicamente mediante turbinas que pueden ser a vapor o hidráulicas; en los equipos de transporte mediante motores de combustión interna o turbinas a vapor. En una serie de casos los generadores se usan como fuente de energía para equipos de comunicaciones, dispositivos automáticos, de medición, etc.
- B. Motores.-** Son equipos eléctricos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica; sirven para accionar diferentes máquinas, mecanismos y dispositivos que son usados en la industria, agricultura, comunicaciones, y en los artefactos electrodomésticos. En los sistemas modernos de control los motores se usan en calidad de dispositivos gobernadores, de control, como reguladores y/o programables.
- C. Convertidores electromecánicos.-** Transforman la c.a. en c.c. y viceversa, variando la magnitud de tensión (V), tanto de c.a. como c.c., frecuencia (f), número de fases y otros. Se usan ampliamente en la industria aunque en las últimas décadas ha disminuido su demanda debido al uso de los convertidores semiconductores (dispositivos electrónicos de potencia).
- D. Compensadores electromecánicos.-** Generan o absorben potencia reactiva (Q) en los sistemas eléctricos de potencia para mejorar los índices energéticos (el factor de potencia  $\phi$ , niveles de tensión) en las interconexiones y los centros de carga.
- E. Amplificadores electromecánicos.-** Se usan para el control de equipos de gran potencia, mediante señales eléctricas de pequeña potencia, que son transmitidos a los devanados de excitación (control). Su uso también ha disminuido.
- F. Convertidores electromecánicos de señales.-** Generan, transforman y amplifican diferentes señales. Se diseñan y proyectan en forma de micromotores y lo usan ampliamente diferentes equipos de control.



**FIGURA 1: Motores: Uso final Industria, comercio, etc..**

## 1.2. CLASIFICACIÓN POR TIPO DE CORRIENTE Y POR SU FUNCIONAMIENTO

Por el tipo de corriente se dividen en máquinas de c.a. y de c.c. Las máquinas en dependencia de su funcionamiento y de su sistema magnético (núcleo) se dividen en transformadores, máquinas de inducción, máquinas síncronas y máquinas colectoras.

- A. Transformadores.-** Se usan ampliamente para la variación de tensión. En los sistemas de transmisión, distribución y utilización, en los rectificadores de corriente, en la automática y la electrónica.
- B. Máquina de inducción.-** Se usan como motores trifásicos, habiendo también monofásicos. La simpleza de su diseño y su alta confiabilidad permiten su uso en diferentes campos de la ingeniería. En los sistemas de regulación automática. (SRA) se usan ampliamente motores de control mono y bifásico, taco generadores así también como selsynes.
- C. Máquinas síncronas.-** Se usan como generadores de c.a. de frecuencia industrial (50 ó 60 Hz) en las CC. EE., así como generadores de alta frecuencia (en los barcos, aviones, etc.). En los sistemas de mando eléctrico de gran potencia se usan motores síncronos. En los dispositivos automáticos se usan máquinas síncronas de histerésis, con imanes permanentes, de paso y otros.
- D. Máquinas colectoras.-** Se usan muy rara vez y sólo como motores. Tienen un diseño complejo y exigen muy buen mantenimiento.
- E. Máquina de C.C.-** Se usan como generadores y motores en los sistemas de mando eléctrico que requieran flexibilidad en la regulación de velocidad: en los ferrocarriles, en el transporte marítimo, en laminadores, en grúas; también en casos cuando la fuente de energía eléctrica son baterías acumuladoras.

Los generadores de c.c. frecuentemente se usan para el suministro de energía a dispositivos de comunicaciones, el transporte (aviones, trenes, buques), para cargar baterías. Sin embargo ahora son reemplazados por generadores de c.a., que funcionan conjuntamente con rectificadores de estado sólido (semiconductores).

### 1.3. CLASIFICACIÓN POR NIVEL DE POTENCIA

En función a la potencia que absorben o generan las máquinas, se dividen en micro máquinas, motores de pequeña, media y gran potencia.

- **Micro máquinas.-** Cuya potencia varía de décimas de watt hasta 500 w. Estas máquinas trabajan tanto en C.A. como en C.C., así como a altas frecuencias (400 - 200 Hz).
- **De pequeña potencia.-** 0.5 - 10 kW. funcionan tanto en c.a. como en c.c. y, en frecuencia normal (50 - 60 Hz ó más).
- **De potencia media.-** 10 kW hasta varios cientos de kW.
- **De gran potencia.-** Mayor de 100 kW. Por lo general las máquinas de media y gran potencia funcionan a frecuencia industrial.

### 1.4. CLASIFICACIÓN POR FRECUENCIA DE GIRO (VELOCIDAD)

Se dividen en :

De baja velocidad	:	con velocidad menor de 300 r.p.m.;
De velocidad media	:	(300 - 1500 r.p.m.);
De altas velocidades	:	(1500 - 6000 r.p.m.);
De extra altas velocidades:		(mayor de 6000 r.p.m.).

Las micro máquinas se diseñan para velocidades de algunos r.p.m. hasta 6000 r.p.m.

## 2. CARACTERÍSTICAS NOMINALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

- Cada máquina tiene una placa adherida a su carcasa. En esta placa se indican el tipo, sus características con sus principales índices energéticos y sus condiciones de funcionamiento para los cuales ha sido diseñados.
- Son datos nominales o características: La potencia, tensión, corriente, velocidad, frecuencia de C.A., rendimiento (performance), número de fases, factor de potencia y régimen de funcionamiento (para carga permanente, carga tipo sierra, carga de emergencia). Además, en la placa figura: Nombre del

fabricante, año de fabricación, clase de aislamiento, también datos complementarios necesarios para la instalación y mantenimiento (peso, conexión trifásica, otros).

El término “nominal” se puede usar también para referirse a magnitudes no señaladas en la placa, pero que corresponden al régimen nominal de funcionamiento, por ejemplo par nominal, deslizamiento.

### 3. POTENCIA NOMINAL DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Potencia nominal es aquella potencia para la cual está diseñada la máquina, teniendo en cuenta su temperatura y el trabajo continuo durante su tiempo de uso (funcionamiento).

Se entiende por potencia nominal:

- **para el motor.-** potencia mecánica en el árbol (eje, rotor), W ó kW;
- **para generador c.c.-** potencia eléctrica en los bornes (terminales), W ó kW;
- **para generador de c.a.-** potencia aparente en los bornes, VA ó kVA.

Las máquinas pueden funcionar también en condiciones no nominales (sobrecarga y subcarga, potencia superior o inferior a la nominal, tensión y corriente diferentes del nominal), en estas condiciones los índices energéticos también son diferentes del nominal. Frecuentemente, ante cargas inferiores a la nominal, el rendimiento y el factor de potencia son menores que sus valores nominales; ante cargas superiores a la nominal surge el peligro de una elevada temperatura en diferentes partes de la máquina, principalmente en los devanados, lo cual puede tener efecto en el deterioro de su aislamiento o de la máquina en su conjunto. La temperatura máxima permisible en los devanados depende de las propiedades del aislamiento usado (de su tipo) y del tiempo de funcionamiento de la máquina y fluctúa entre los 105 y 180° C.

En los estándares para máquinas se incluyen otras normas que determinan las sobrecargas permitidas y las pruebas a que son sometidas los elementos de su estructura, también las condiciones de su funcionamiento.

Las máquinas de c.a. por regla general están diseñados para funcionar con tensión senoidal y simetría en las fases. Las máquinas que trabajan acopladas eléctricamente con dispositivos rectificadores generalmente tienen una forma de tensión y corriente diferente a la senoidal originando la presencia de armónicos en la red, lo que origina pérdidas complementarias de energía lo cual hace que se eleve la temperatura de los devanados y del núcleo.

## 4. TRANSFORMADORES

El transformador es un dispositivo estático de tipo electromagnético que tiene dos o más devanados acoplados por un campo magnético mutuo (núcleo) y se usa para convertir uno o varios sistemas de c.a. en otro u otros sistemas de c.a. de tensión diferente.

La aplicación de los transformadores permite elevar o bajar la tensión, variar el número de fases y en algunos casos incluso variar la frecuencia de la c.a. La posibilidad de transmitir las señales eléctricas de un devanado a otro mediante inducción electromagnética fue descubierto por M. Faraday.

Los transformadores se usan para los siguientes fines:

### 4.1. TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Por lo general en las centrales eléctricas (CC.EE.) se genera energía a tensión de 6-24 kV. Transmitir la energía a grandes distancias, es más económico haciéndolo a altas tensiones, por ello en las centrales se instalan transformadores elevadores de tensión.

Actualmente en la transmisión de energía se usan tensiones de 220, 330, 500 y 750 kV y potencias hasta de 1200 - 1600 MVA.

La energía eléctrica en el país se distribuye a las industrias y a las ciudades por cables subterráneos y líneas aéreas a tensiones de 35, 60, 110, 138 y 220 kV. Por lo tanto en los centros de consumo deben instalarse transformadores para bajar los niveles de tensión a 10 kV y 0.38-0.22 kV. Los transformadores usados para estos fines pueden ser monofásicos o trifásicos.

Para asegurar el circuito de conexión necesario de las válvulas rectificadoras (diodos) en los dispositivos convertidores. (En los circuitos rectificadores o en los inversores, la relación de tensiones a la entrada y salida depende de la conexión de los diodos).

En los últimos años se usan transformadores para la excitación de campos de potentes turbo o hidrogenadores, de mando eléctrico y otros fines más. Además gracias al uso de aislamiento resistente al calor en la fabricación de los transformadores, se ha podido elevar la potencia en 1.3 - 1.5 veces y disminuir sus dimensiones.

Para diferentes objetivos tecnológicos como soldadura, fuentes de alimentación. La potencia alcanza algunas decenas de kVA con tensiones de hasta 10 kV.

Para la alimentación de los diferentes circuitos de radio y TV, dispositivos de comunicaciones, automática y telemecánica. En estos usos los transformadores

por lo general tienen pequeña potencia (de algunos watts hasta algunos kW) y baja tensión. Son diseñados en 2, 3 y multidevanados.

Para conectar instrumentos de medición y otros dispositivos, por ejemplo relés, en los circuitos eléctricos de alta tensión (AT) ó en los circuitos por donde fluyen grandes corrientes, con el objetivo de ampliar las escalas de medición. Los transformadores que se usan para esta aplicación se llaman transformadores de medida, tienen pequeña potencia, que es determinada por la potencia de los aparatos de medición, relés y otros.

Los transformadores que se usan en la industria y en los sistemas eléctricos (transmisión y distribución) son llamados transformadores de potencia. Para su funcionamiento son características: magnitud de potencia variable en función a un diagrama de carga y pequeñas variaciones de tensión, tanto del primario como del secundario, con respecto al valor nominal.

## 4.2. DATOS NOMINALES DE LOS TRANSFORMADORES

- Potencia nominal, KVA
- Tensión de AT, kV
- Tensión de BT, kV
- Corriente nominal en AT. Amp.
- Corriente nominal en BT. Amp.
- Factor de potencia,  $\cos\phi$
- Frecuencia, Hz
- Esquema de conexión
- Número de fases
- Tensión de cortocircuito

## 4.3. PÉRDIDAS DE POTENCIA Y ENERGÍA EN LOS TRANSFORMADORES

En los transformadores se tienen dos tipos de pérdidas, pérdidas en el hierro y pérdidas en el cobre.

- a) **Pérdidas en el hierro.**- Son pérdidas que se deben a las características de diseño y a la calidad de los materiales empleados en su fabricación. Este tipo de pérdidas son permanentes y tienen lugar mientras el transformador esté conectado a la red. La magnitud de estas pérdidas depende del tamaño o potencia del transformador.

Este tipo de pérdidas  $\Delta P_{Fe}$  las define el fabricante y las presenta en las especificaciones del equipo.

b) **Pérdidas en el cobre.**- Son pérdidas que se deben al efecto Joule es decir por la corriente que circula en devanados del transformador. Estas pérdidas dependen del nivel de carga que tenga el transformador en su operación. Se determina por la siguiente relación:

$$\Delta P_{Cu} = (Fu)^2 \cdot \Delta P_{Cu N}$$

$Fu$  = Factor de utilización igual a  $I_{oper}/I_N$

Las pérdidas de energía en los transformadores,  $\Delta E_{trafo}$ , que incluye tanto las pérdidas en el hierro como en el cobre se determina por la siguiente relación :

$$\Delta E_{Trafo} = (\Delta P_{fe} + (Fu_{MD})^2 \cdot \Delta P_{Cu N} \cdot fp) \cdot T$$

$Fu_{MD}$  = Factor de utilización en máxima demanda.

$Fp$  = Factor de pérdidas, del diagrama de carga.

$T$  = Período de evaluación de las pérdidas.

**Tabla I Pérdidas en transformadores**

P	Pérdidas en vacío	Pérdidas debido a la carga	Tensión de corto-circuito	Potencia reactiva a compensar	
				Vacío	Plena carga
KVA	W	W	%	KVAr	KVAr
100	320	1750	4	2.48	6.08
160	460	2350	4	3.65	9.60
200	550	2850	4	4.67	11.84
250	650	3250	4	5.21	14.67
315	770	3900	4	6.25	18.32
400 B1	930	4810	4	7.54	22.80
400B2	930	4600	4	7.54	22.87
500 B1	1100	5950	4	9.44	28.53
500 B2	1100	5500	4	9.44	28.67
630 B1	1300	6950	4	11.27	35.49
630 B2	1300	6500	4	11.27	35.62
800 B1	1560	12000	5.5	19.91	62.24
800 B2	1560	10200	4.5	19.91	54.43
1000 B1	1840	13900	5	23.90	82.26
1000 B2	1840	12100	5	23.90	72.40
1250	2160	15000	5.5	27.37	94.46
1600	2640	18100	6	31.83	126.11
2000	3900	22500	7	37.80	176.00
2500	4500	27500	7.5	44.80	230.00
3150	5400	35000	8	53.30	303.00

#### 4.4. Rango de pérdidas en equipos de Sistemas de Potencia

ITEM	COMPONENTE	% Pérdidas de Energía (100% de carga)
A	Interruptores de Interperie (15 a 230 kV)	0.002 - 0.015
B	Generadores	0.09 – 3.50
C	Interruptores de Media Tensión (5-15kV)	0.005 –0.02
D	Reactor Limitador de Corriente (600 V a 15 kV)	0.09 – 0.30
E	Transformadores	0.40 – 1.90
F	Seccionadores Bajo Carga	0.003 – 0.025
G	Arrancadores de Media Tensión	0.02 – 0.15
H	Líneas (menor ó igual a 480 V)	0.05 – 0.50
I	Interruptoresde Baja tensión	0.13 – 0.34
J	Centro de Control de Motores	0.01 – 0.40
K	Cables	1.00 – 4.00
L	Motores	
	a.- 1 - 10 HP	14.00 – 35.00
	b.- 10 - 200 HP	6.00 – 12.00
	c.- 200 - 1500 HP	4.00 – 7.00
	d.- 1500 HP a más	2.30 – 4.50
M	Rectificadores	3.00 – 9.00
N	Variadores de Velocidad Estáticos	6.00 – 15.00
O	Capacitadores (pérdidas watts/var)	0.50 – 2.00
P	Iluminación (Lumen/watts)	3.00 – 9.00

**ING. CIP EDUARDO TIRAVANTI**

Email: [etiravanti@stilar.net](mailto:etiravanti@stilar.net)

Web: [www.stilar.net](http://www.stilar.net)