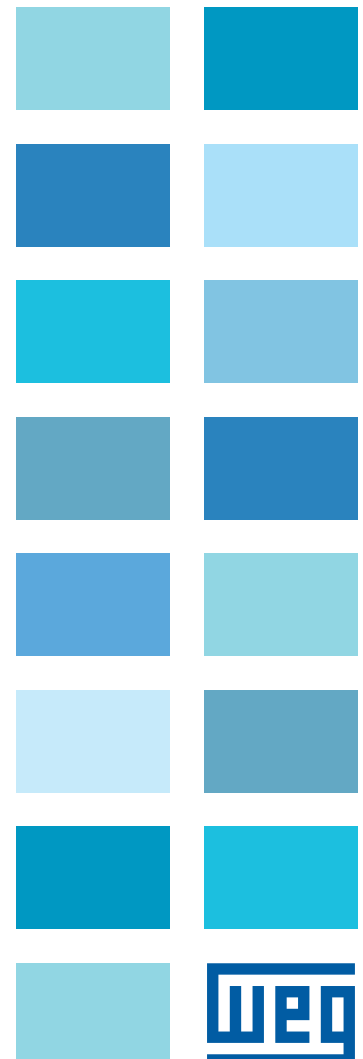
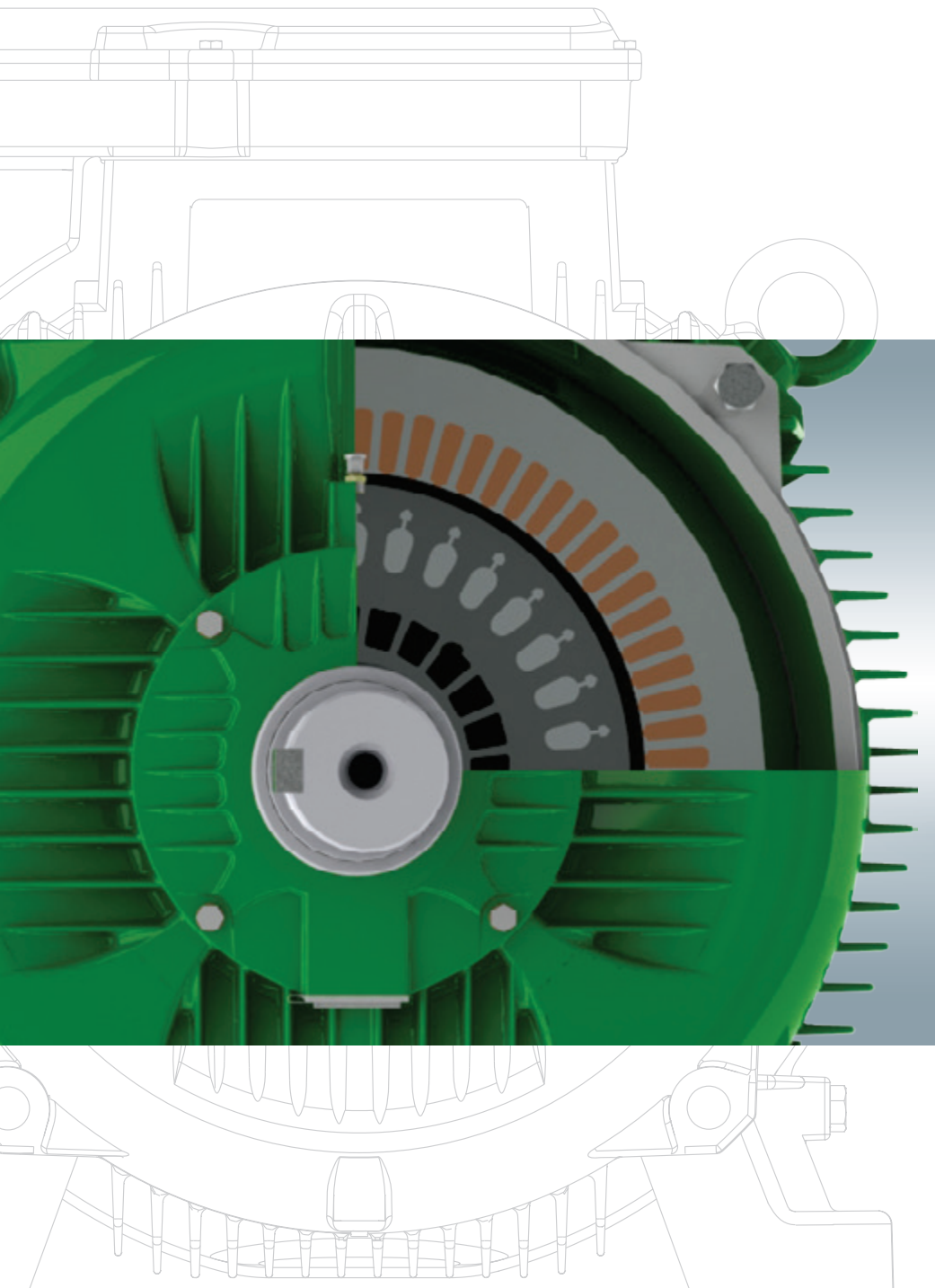
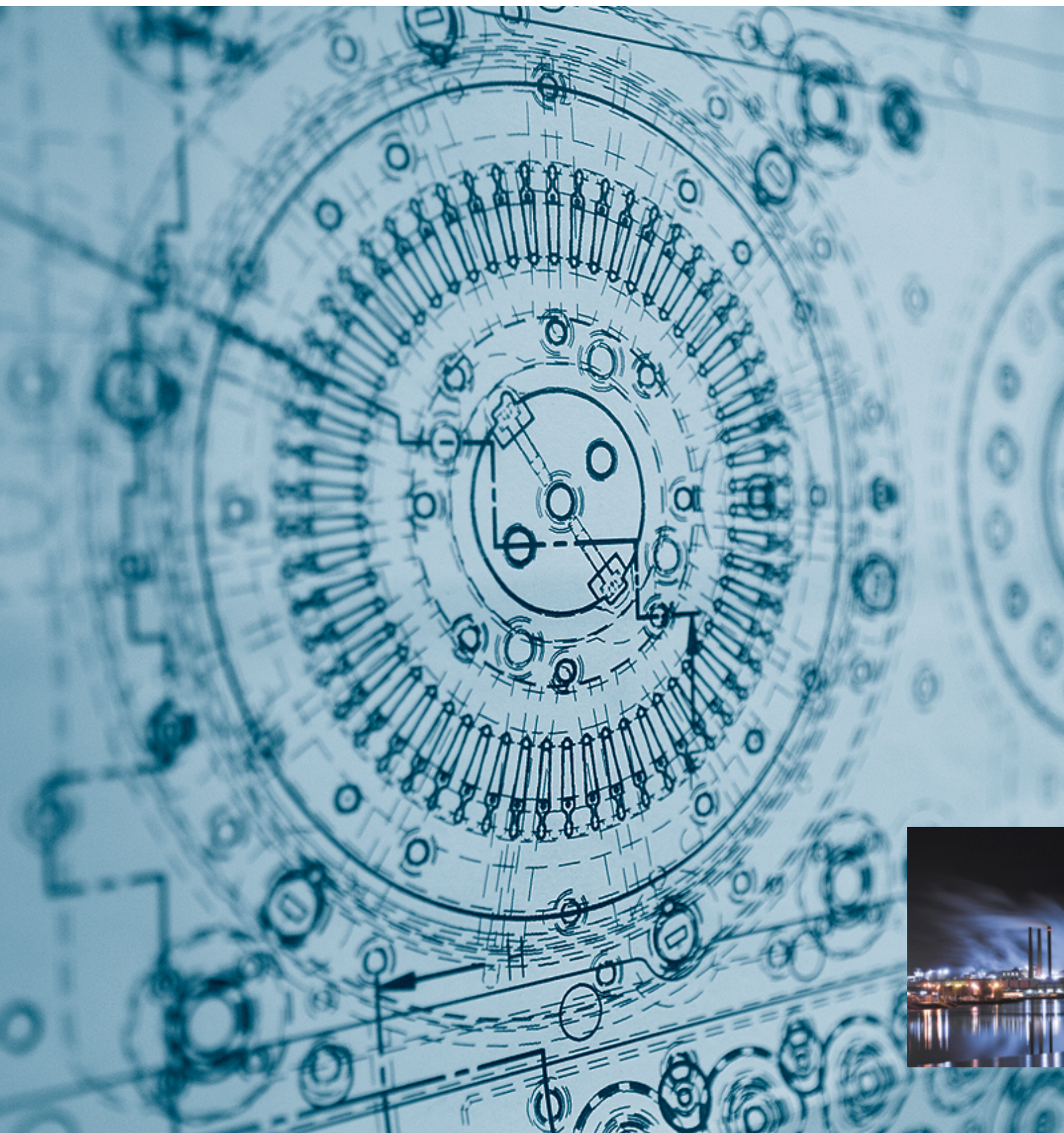


Motores Eléctricos

Guía de Especificación



Especificación de Motores Eléctricos





Donde quiera que haya progreso, la presencia del motor eléctrico es imprescindible. Desempeñando un importante papel en la sociedad, los motores son el corazón de las máquinas modernas, por esa razón es necesario conocer sus principios fundamentales de funcionamiento, desde la construcción hasta las aplicaciones.

La guía de Especificación de Motores Eléctricos WEG auxilia de manera simple y objetiva a aquellos que compran, venden y trabajan con esos equipamientos, trayendo instrucciones de manipulación, uso y funcionamiento de los más diversos tipos de motores.

En la era de las máquinas modernas, los motores eléctricos son el combustible de la innovación.

Este material tiene como objetivo presentar a todos los apasionados por la electricidad, el crecimiento continuo de las nuevas tecnologías, sin perder la simplicidad de lo fundamental en el universo de la energía.



1. Nociones Fundamentales

1.1 Motores Eléctricos

El motor eléctrico es la máquina destinada a transformar energía eléctrica en energía mecánica. El motor de inducción es el más usado de todos los tipos de motores, ya que combina las ventajas de la utilización de energía eléctrica - bajo costo, facilidad de transporte, **limpieza**, simplicidad de comando - con su construcción simple y su gran versatilidad de adaptación a las cargas de los más diversos tipos y mejores rendimientos. Los tipos más comunes de motores eléctricos son:

a) Motores de corriente continua

Son motores de costo más elevado y, además de eso, precisan una fuente de corriente continua, o un dispositivo que convierta la corriente alterna común en continua. Pueden funcionar con velocidad ajustable, entre amplios límites y se prestan a controles de gran flexibilidad y precisión. Por eso, su uso es restringido a casos especiales en que estas exigencias compensan el costo mucho más alto de la instalación y del mantenimiento.

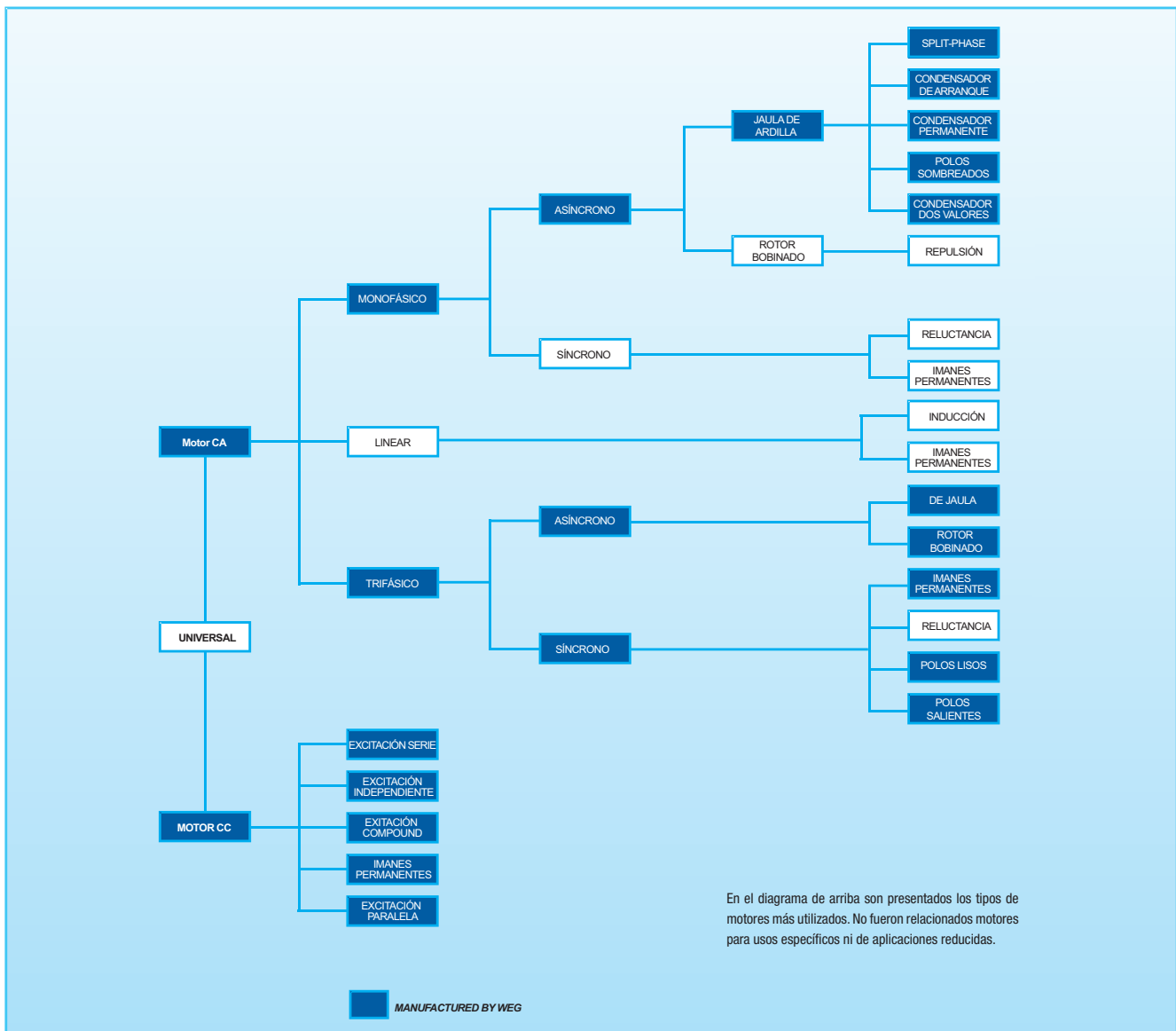
b) Motores de corriente alterna

Son los más utilizados, porque la distribución de energía eléctrica es hecha normalmente en corriente alterna. Los principales tipos son:

Motor síncrono: Funciona con velocidad fija, o sea, sin interferencia del deslizamiento; utilizado normalmente para grandes potencias (debido a su alto costo en tamaños menores).

Motor de inducción: Funciona normalmente con una velocidad constante, que varía ligeramente con la carga mecánica aplicada al eje. Debido a su gran simplicidad, robustez y bajo costo, es el motor más utilizado de todos, siendo adecuado para casi todos los tipos de máquinas accionadas, encontradas en la práctica. Actualmente es posible el control de la velocidad de los motores de inducción con el auxilio de convertidores de frecuencia.

El Universo Tecnológico de los Motores Eléctricos



En el diagrama de arriba son presentados los tipos de motores más utilizados. No fueron relacionados motores para usos específicos ni de aplicaciones reducidas.

Tabla 1.1

1.2 Conceptos Básicos

A seguir son presentados los conceptos de algunas grandezas básicas, cuya comprensión es necesaria para seguir correctamente las explicaciones de las otras partes de esta guía.

1.2.1 Conjugado

El conjugado (también llamado par o momento) es la medida del esfuerzo necesario para girar un eje. Por la experiencia práctica se observa que para levantar un peso por un proceso semejante al usado en pozos (figura 1.1) la fuerza F que es precisa aplicar a la manivela, depende de la longitud E de la misma. Cuanto mayor sea la manivela, menor será la fuerza necesaria. Si doblamos el tamaño E de la manivela, la fuerza F necesaria será disminuida a la mitad. En el ejemplo de la figura 1.1, si el balde pesa 20 N y el diámetro del tambor es de 0,20 m, la cuerda transmitirá una fuerza de 20 N en la superficie del tambor, es decir, a 0,10 m del centro del eje. Para contrabalancear esta fuerza, se precisa de 10 N en la manivela, si la longitud E es de 0,20 m. Si E es el doble, es decir, 0,40 m, la fuerza F será la mitad, o sea 5 N. Como vemos, para medir el “esfuerzo” necesario para girar el eje, no basta definir la fuerza empleada: es preciso también decir a qué distancia del centro eje la fuerza es aplicada. El “esfuerzo” es medido por el conjugado, que es el producto de la fuerza por la distancia, F x E. En el ejemplo citado, el conjugado vale:

$$C = 20 \text{ N} \times 0,10 \text{ m} = 10 \text{ N} \times 0,20 \text{ m} = 5 \text{ N} \times 0,40 \text{ m} = 2,0 \text{ Nm}$$

$$C = F \cdot E \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

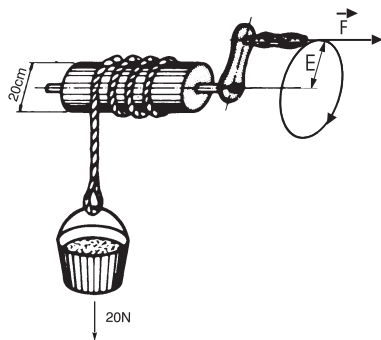


Figura 1.1

1.2.2 Energía y Potencia Mecánica

La potencia mide la “velocidad” con que la energía es aplicada o consumida. En el ejemplo anterior, si el pozo tiene 24,5 metros de profundidad, la energía gastada, o trabajo (W) realizado para traer el balde desde el fondo hasta la boca del pozo, es siempre la misma, valiendo: $20 \text{ N} \times 24,5 \text{ m} = 490 \text{ Nm}$

Nota: la unidad de medida de energía mecánica, Nm, es la misma que usamos para el conjugado - se trata, no obstante, de grandezas de naturalezas diferentes, que no deben ser confundidas.

$$W = F \cdot d \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

OBS.: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = \text{potencia} \times \text{tiempo} = \text{Watts} \times \text{segundo}$

La potencia exprime la rapidez con que esta energía es aplicada y se calcula dividiendo la energía o trabajo total por el tiempo gastado en realizarlo.

Entonces, si usamos un motor eléctrico capaz de levantar el balde de agua en 2,0 segundos, la potencia necesaria será:

$$P_{\text{mec}} = \frac{F \cdot d}{t} \quad (\text{W})$$

$$P_1 = \frac{490}{2,0} = 245 \text{ W}$$

Si usamos un motor más potente, con capacidad de realizar el trabajo en 1,3 segundos, la potencia necesaria será:

$$P_2 = \frac{490}{1,3} = 377 \text{ W}$$

La unidad usada en Brasil para medida de potencia mecánica y el cv (caballo-vapor), equivalente a 0,736 kW (unidad de medida utilizada internacionalmente para el mismo fin).

Relación entre unidades de potencia:

$$P (\text{kW}) = 0,736 \cdot P (\text{cv})$$

$$P (\text{cv}) = 1,359 \cdot P (\text{kW})$$

Entonces las potencias de los dos motores de arriba serán:

$$P_1 = \frac{245}{736} = \frac{1}{3} \text{ cv} \quad P_2 = \frac{377}{736} = \frac{1}{2} \text{ cv}$$

Para movimientos circulares:

$$C = F \cdot r \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad (\text{m/s})$$

$$P_{\text{mec}} = \frac{F \cdot d}{736 \cdot t} \quad (\text{cv})$$

Donde: C = conjugado en Nm
F = fuerza en N
r = rayo de la polea en m
v = velocidad angular en m/s
d = diámetro de la patasza en m
n = velocidad en rpm

1.2.3 Energía y Potencia Eléctrica

Aunque la energía sea una sola cosa, la misma puede presentarse de formas diferentes. Se conectamos una resistencia a una red eléctrica con tensión, pasará una corriente eléctrica que calentará la resistencia. La resistencia absorbe energía eléctrica y la transforma en calor, que también es una forma de energía. Un motor eléctrico absorbe energía eléctrica de la red y la transforma en energía mecánica disponible en la punta del eje.

Circuitos de corriente continua

La "potencia eléctrica", en circuitos de corriente continua, puede ser obtenida a través de la relación de la tensión (U), corriente (I) y resistencia (R) implicadas en el circuito, o sea:

$$P = U \cdot I \quad (W)$$

o,

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (W)$$

o,

$$P = R \cdot I^2 \quad (W)$$

Donde: U = tensión en Volt
I = corriente Amper
R = resistencia en Ohm
P = potencia media en Watt

Circuitos de corriente alterna

a) Resistencia

En el caso de las "resistencias", cuanto mayor sea la tensión de la red, mayor será la corriente y más deprisa la resistencia se calentará. Esto quiere decir que la potencia eléctrica será mayor. La potencia eléctrica absorbida de la red, en el caso de la resistencia, es calculada multiplicándose la tensión de la red por la corriente, si la resistencia (carga), es monofásica.

$$P = U_f \cdot I_f \quad (W)$$

En el sistema trifásico, la potencia en cada fase de la carga será $P_f = U_f \times I_f$, como si fuese un sistema monofásico independiente. La potencia total será la suma de las potencias de las tres fases, o sea:

$$P = 3P_f = 3 \cdot U_f \cdot I_f$$

Recordando que el sistema trifásico está conectado en estrella o triángulo, tenemos las siguientes relaciones:

Conexión estrella: $U = \sqrt{3} \cdot U_f$ e $I = I_f$

Conexión triángulo: $U = U_f$ e $I = \sqrt{3} \cdot I_f$

De esta forma, la potencia total, para ambas conexiones, será:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (W)$$

Nota: esta expresión vale para la carga formada por resistencias, donde no hay desfase de la corriente.

b) Cargas reactivas

Para las "cargas reactivas", o sea, donde existe desfase entre el ángulo de la tensión y de la corriente, como es el caso de los motores de inducción, este desfase tiene que ser considerado y la expresión queda:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (W)$$

Donde: U = Tensión de línea
I = Corriente de línea
 $\cos \varphi$ = Ángulo de desfase entre la tensión y la corriente de fase.

La unidad de medida usual para potencia eléctrica y el Watt (W), correspondiente a 1 Volt x 1 Amper, o su múltiple, el kilowatt = 1.000 Watts. Esta unidad también es usada para medida de potencia mecánica. La unidad de medida usual para energía eléctrica es el kilo-watt-hora (kWh) correspondiente a la energía suministrada por una potencia de 1 kW funcionando durante una hora - es la unidad que aparece para cobranza en las cuentas de luz.

1.2.4 Potencias Aparente, Activa y Reactiva

Potencia aparente (S)

Es el resultado de la multiplicación de la tensión por la corriente ($S = U \cdot I$ para sistemas monofásicos y $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$, para sistemas trifásicos). Corresponde a la potencia que existiría si no hubiese desfase de la corriente, o sea, si la carga fuese formada por resistencias. Entonces:

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \quad (VA)$$

Evidentemente, para las cargas resistivas, $\cos \varphi = 1$ y la potencia activa se confunde con la potencia aparente. La unidad de medida para potencia aparente es el Volt-Amper (VA) o su múltiple, el kilo-Volt-Amper (kVA).

Potencia activa (P)

Es la cantidad de potencia aparente que realiza trabajo, o sea, que es transformada en energía.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (W) \quad \text{ou} \quad P = S \cdot \cos \varphi \quad (W)$$

Potencia reactiva (Q)

Es la cantidad de potencia aparente que "no" realiza trabajo. Solamente es transferida y almacenada en los elementos pasivos (condensadores e inductores) del circuito.

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (VAR) \quad \text{ou} \quad Q = S \cdot \sin \varphi \quad (VAR)$$

Triángulo de potencias

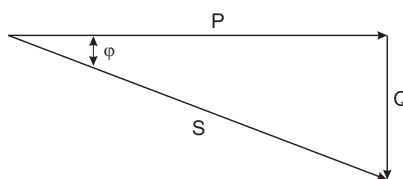


Figura 1.2 - Triángulo de potencias (carga inductiva).

1.2.5 Factor de Potencia

El factor de potencia, indicado por $\cos \varphi$, donde φ y el ángulo de desfase de la tensión en relación a la corriente, es la relación entre la potencia activa (P) y la potencia aparente (S)

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P \text{ (kW)} \cdot 1.000}{3 \cdot U \cdot I}$$

Así,

- Carga Resistiva: $\cos \varphi = 1$
- Carga Inductiva: $\cos \varphi$ atrasado
- Carga Capacitiva: $\cos \varphi$ adelantado

Nota: los términos, atrasado y adelantado, se refieren al ángulo de la corriente en relación a la tensión.

Un motor no consume solamente potencia activa, que luego es convertida en trabajo mecánico y calor (pérdidas), sino que también consume potencia reactiva, necesaria para la magnetización que no produce trabajo. En el diagrama de la figura 1.3, el vector P representa la potencia activa y el Q la potencia reactiva, que sumadas resultan en la potencia aparente S.

Importancia del factor de potencia

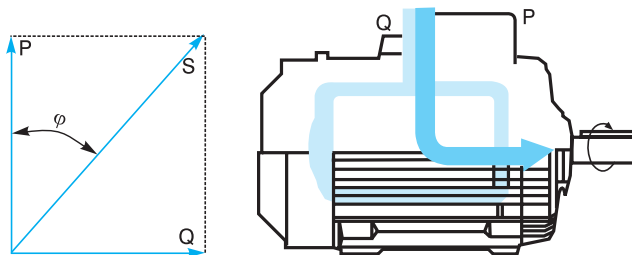


Figura 1.3 - El factor de potencia es determinado midiéndose la potencia de entrada, la tensión y la corriente de carga nominal.

Con el objetivo de optimizar el aprovechamiento del sistema eléctrico brasileño, reduciendo el tránsito de energía reactiva en las líneas de transmisión, subtransmisión y distribución, el decreto del DNAEE número 85, de 25 de marzo de 1992, determina que el factor de potencia de referencia de las cargas pasa de 0,85 a 0,92. El cambio del factor de potencia, otorga mayor disponibilidad de potencia activa al sistema, ya que la energía reactiva limita la capacidad de transporte de energía útil (activa).

El motor eléctrico es una patasza fundamental, ya que dentro de las industrias, representa más de 60% del consumo de energía. Con esto, es imprescindible la utilización de motores con potencia y características correctamente adecuadas a su función, ya que el factor de potencia varía con la carga del motor.

Corrección del factor de potencia

El aumento del factor de potencia es realizado con la conexión de una carga capacitiva, en general, un condensador o motor síncrono súper excitado, en paralelo con la carga.

Por ejemplo:

Un motor eléctrico, trifásico de 100 cv (75 kW), IV polos, operando a 100% de la potencia nominal, con factor de potencia original de 0,87 y rendimiento de 93,5%. Se desea calcular la potencia reactiva necesaria para elevar el factor de potencia a 0,95.

Solución:

Valiéndose de la tabla 1.2, en la intersección de la línea 0,87 con la columna de 0,95, se obtiene el valor de 0,238, que multiplicado por la potencia absorbida de la red por el motor en kW, resulta en el valor de la potencia reactiva necesaria para elevarse el factor de potencia de 0,87 a 0,95.

$$\begin{aligned} \text{kVAr} &= \frac{P \text{ (HP)} \times 0,736 \times F \times 100\%}{\text{Eff. \%}} \\ &= \frac{100 \times 0,736 \times 0,238 \times 100\%}{93,5\%} \\ \text{kVAr} &= 18,735 \text{ kVAr} \end{aligned}$$

*Donde: kVAr = Potencia trifásica del banco de condensadores a ser instalado
P (cv) = Potencia nominal del motor
F = Factor obtenido en la tabla 1.2
Rend. % = Rendimiento del motor*



Factor de potencia original	Factor de potencia deseado																				
	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,50	0,982	1,008	1,034	1,060	1,086	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,442	1,481	1,529	1,590	1,732
0,51	0,937	0,962	0,989	1,015	1,041	1,067	1,094	1,120	1,147	1,175	1,203	1,231	1,261	1,292	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
0,52	0,893	0,919	0,945	0,971	0,997	1,023	1,060	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
0,53	0,850	0,876	0,902	0,928	0,954	0,980	1,007	1,033	1,060	1,088	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,457	1,600
0,54	0,809	0,835	0,861	0,887	0,913	0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,359
0,55	0,769	0,795	0,821	0,847	0,873	0,899	0,926	0,952	0,979	1,007	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
0,56	0,730	0,756	0,782	0,808	0,834	0,860	0,887	0,913	0,940	0,968	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
0,57	0,692	0,718	0,744	0,770	0,796	0,822	0,849	0,875	0,902	0,930	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
0,58	0,655	0,681	0,707	0,733	0,759	0,785	0,812	0,838	0,865	0,893	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
0,59	0,618	0,644	0,670	0,696	0,722	0,748	0,775	0,801	0,828	0,856	0,884	0,912	0,943	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
0,60	0,584	0,610	0,636	0,662	0,688	0,714	0,741	0,767	0,794	0,822	0,850	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
0,61	0,549	0,575	0,601	0,627	0,653	0,679	0,706	0,732	0,759	0,787	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
0,62	0,515	0,541	0,567	0,593	0,619	0,645	0,672	0,698	0,725	0,753	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
0,63	0,483	0,509	0,535	0,561	0,587	0,613	0,640	0,666	0,693	0,721	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233
0,64	0,450	0,476	0,502	0,528	0,554	0,580	0,607	0,633	0,660	0,688	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,066	1,208
0,65	0,419	0,445	0,471	0,497	0,523	0,549	0,576	0,602	0,629	0,657	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169
0,66	0,388	0,414	0,440	0,466	0,492	0,518	0,545	0,571	0,598	0,26	0,654	0,692	0,709	0,742	0,755	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
0,67	0,358	0,384	0,410	0,436	0,462	0,488	0,515	0,541	0,568	0,596	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,906	0,966	1,108
0,68	0,329	0,355	0,381	0,407	0,433	0,459	0,486	0,512	0,539	0,567	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
0,69	0,299	0,325	0,351	0,377	0,403	0,429	0,456	0,482	0,509	0,537	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
0,70	0,270	0,296	0,322	0,348	0,374	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,71	0,242	0,268	0,294	0,320	0,346	0,372	0,399	0,425	0,452	0,480	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,72	0,213	0,239	0,265	0,291	0,317	0,343	0,370	0,396	0,423	0,451	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,624	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,73	0,186	0,212	0,238	0,264	0,290	0,316	0,343	0,369	0,396	0,424	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,74	0,159	0,185	0,211	0,237	0,263	0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,75	0,132	0,158	0,184	0,210	0,236	0,262	0,289	0,315	0,342	0,370	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882
0,76	0,106	0,131	0,157	0,183	0,209	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855
0,77	0,079	0,106	0,131	0,157	0,183	0,209	0,236	0,262	0,289	0,317	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,686	0,829
0,78	0,053	0,079	0,105	0,131	0,157	0,183	0,210	0,236	0,263	0,291	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,562	0,594	0,661	0,803
0,79	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,153	0,183	0,209	0,236	0,264	0,292	0,320	0,347	0,381	0,403	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776
0,80	0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,264	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750
0,81		0,000	0,026	0,062	0,078	0,104	0,131	0,157	0,184	0,212	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724
0,82			0,000	0,026	0,062	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,496	0,556	0,696
0,83				0,000	0,026	0,062	0,079	0,105	0,132	0,160	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,536	0,672
0,84					0,000	0,026	0,053	0,079	0,106	0,14	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645
0,85						0,000	0,027	0,053	0,080	0,108	0,136	0,164	0,194	0,225	0,257	0,191	0,229	0,369	0,417	0,476	0,620
0,86							0,000	0,026	0,053	0,081	0,109	0,137	0,167	0,198	0,230	0,265	0,301	0,343	0,390	0,451	0,593
0,87								0,027	0,055	0,082	0,111	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,425	0,567	
0,88									0,028	0,056	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,290	0,337	0,398	0,540	
0,89										0,028	0,056	0,086	0,117	0,149	0,183	0,220	0,262	0,309	0,370	0,512	
0,90											0,028	0,056	0,086	0,117	0,149	0,183	0,220	0,262	0,309	0,370	0,512
0,91													0,030	0,061	0,093	0,127	0,164	0,206	0,253	0,314	0,456
0,92														0,031	0,063	0,097	0,134	0,176	0,223	0,284	0,426
0,93															0,032	0,068	0,103	0,145	0,192	0,253	0,395
0,94																0,034	0,071	0,113	0,160	0,221	0,363
0,95																	0,037	0,079	0,126	0,187	0,328
0,96																		0,042	0,089	0,149	0,292
0,97																			0,047	0,108	0,251
0,98																				0,061	0,203
0,99																					0,142

Tabla 1.2 - Corrección del factor de potencia.

1.2.6 Rendimiento

El rendimiento define la eficiencia con que es hecha la conversión de la energía eléctrica absorbida de la red por el motor, en energía mecánica disponible en el eje. Llamando "Potencia útil" P_u a la potencia mecánica disponible en el eje y "Potencia absorbida" P_a a la potencia eléctrica que el motor retira de la red, el rendimiento será la relación entre las dos, o sea:

$$\eta = \frac{P_u (W)}{P_a (W)} = \frac{736 \cdot P (cv)}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi} = \frac{1.000 \cdot P (kW)}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}$$

ou

$$\eta\% = \frac{736 \cdot P (cv)}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi} \cdot 100$$

1.2.7 Relación entre Conjugado y Potencia

Cuando la energía mecánica es aplicada bajo la forma de movimiento rotativo, la potencia desarrollada depende del conjugado C y de la velocidad de rotación n . Las relaciones son:

$$P (cv) = \frac{C (kgfm) \cdot n (rpm)}{716} = \frac{C (Nm) \cdot n (rpm)}{7.024}$$

$$P (kW) = \frac{C (kgfm) \cdot n (rpm)}{974} = \frac{C (Nm) \cdot n (rpm)}{9.555}$$

Inversamente

$$C (kgfm) = \frac{716 \cdot P (cv)}{n (rpm)} = \frac{974 \cdot P (kW)}{n (rpm)}$$

$$C (Nm) = \frac{7.024 \cdot P (cv)}{n (rpm)} = \frac{9.555 \cdot P (kW)}{n (rpm)}$$

1.3 Sistemas de Corriente Alterna Monofásica

La corriente alterna se caracteriza por el hecho de que la tensión, en vez de permanecer fija, como entre los polos de una batería, varía con el tiempo, cambiando de sentido alternadamente, de ahí su nombre.

En el sistema monofásico, es generada y aplicada una tensión alterna U (Volt) entre dos alambres, a los cuales se conecta la carga, que absorbe una corriente I (Amper) - ver figura 1.4a.

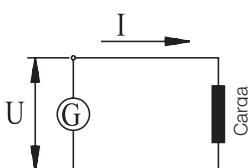


Figura 1.4a

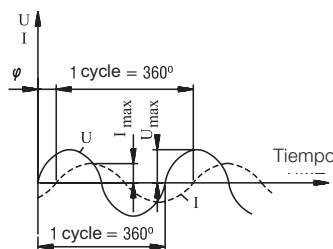


Figura 1.4b

Si representamos en un gráfico los valores de U e I , a cada instante, vamos a obtener la figura 1.4b. En la figura 1.4b están también indicadas algunas grandezas que serán definidas a continuación. Note que las ondas de tensión y de corriente no están "en fase", es decir, no pasan por el valor cero al mismo tiempo, aunque tengan la misma frecuencia; esto ocurre para muchos tipos de carga, por ejemplo, devanados de motores (cargas reactivas).

Frecuencia

Es el número de veces por segundo que la tensión cambia de sentido y vuelve a la condición inicial. Es expresada en "ciclos por segundo" o "Hertz" y simbolizada por Hz.

Tensión máxima ($U_{m\acute{a}x}$)

Es el valor de "pico" de la tensión, o sea, el mayor valor instantáneo alcanzado por la tensión durante un ciclo (este valor es alcanzado dos veces por ciclo, una vez positivo y una vez negativo).

Corriente máxima ($I_{m\acute{a}x}$)

Es el valor de "pico" de la corriente.

Valor eficaz de tensión y corriente (U e I)

Es el valor de tensión y corriente continuas que desarrollan potencia correspondiente a aquella desarrollada por la corriente alterna. Se puede demostrar que el valor eficaz vale:

$$U = \frac{U_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \quad e \quad I = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

Ejemplo:

Si conectamos una "resistencia" a un circuito de corriente alterna:

($\cos \varphi = 1$) with $U_{m\acute{a}x} = 311$ V and $I_{m\acute{a}x} = 14,14$ A.

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{U_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}} \cdot 1 = 311 \cdot 14,14 \cdot 1$$

La potencia desarrollada será:

$$P = 2.200 \text{ Watts} = 2.2 \text{ kW}$$

Nota: normalmente, cuando se habla en tensión y corriente, por ejemplo, 220 V o 10 A, sin especificar nada más, estamos refiriéndonos a valores eficaces de la tensión o de la corriente que son empleados en la práctica.

Desfasaje (φ)

Es el "atraso" de la onda de corriente en relación a la onda de la tensión (ver figura 1.4b). En vez de ser medido en tiempo (segundos), este atraso es generalmente medido en ángulo (grados) correspondiente a la fracción de un ciclo completo, considerando 1 ciclo = 360° . Más comúnmente, el desfasaje es expresado por el coseno del ángulo (ver ítem "1.2.5 - Factor de potencia").

1.3.1 Conexiones en Serie y en Paralelo

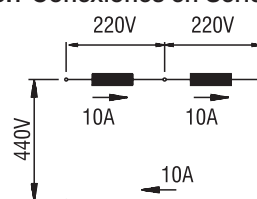


Figura 1.5a

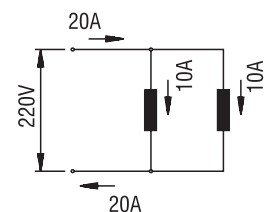


Figura 1.5b

Si conectamos dos cargas iguales a un sistema monofásico, esta conexión puede ser hecha de dos modos:

- Conexión en serie (figura 1.5a), en que la corriente total del circuito recorre las dos cargas. En este caso, la tensión en cada carga será la mitad de la tensión del circuito
- Conexión en paralelo (figura 1.5b), en que es aplicada a las dos cargas la tensión del circuito. En este caso, la corriente en cada carga será la mitad de la corriente total del circuito

1.4 Sistemas de Corriente Alterna Trifásica

El sistema trifásico está formado por la asociación de tres sistemas monofásicos de tensiones U_1 , U_2 y U_3 tales que el desfase entre las mismas sea de 120° , o sea, los "atrasos" de U_2 en relación a U_1 , de U_3 en relación a U_2 y de U_1 en relación a U_3 sean iguales a 120° (considerando un ciclo completo = 360°). El sistema es equilibrado si las tres tensiones tienen el mismo valor eficaz $U_1 = U_2 = U_3$ conforme la figura 1.6.

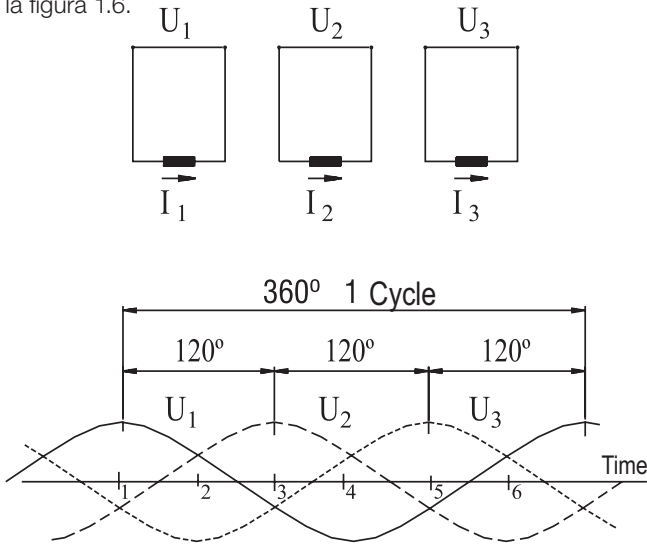


Figura 1.6

Conectando entre sí los tres sistemas monofásicos y eliminando los alambres innecesarios, tendremos un sistema trifásico equilibrado: tres tensiones U_1 , U_2 y U_3 equilibradas, desfasadas entre sí de 120° y aplicadas entre los tres alambres del sistema. La conexión puede ser hecha de dos maneras, representadas en los esquemas a seguir. En estos esquemas, se suele representar las tensiones con flechas inclinadas o vectores giratorios, manteniendo entre sí el ángulo correspondiente al desfase (120°), conforme las figuras 1.7a, b y c, y las figuras 1.8a, b y c.

1.4.1 Conexión Triángulo

Si conectamos los tres sistemas monofásicos entre sí, como indican las figuras 1.7a, b y c, podemos eliminar tres alambres, dejando apenas uno en cada punto de conexión, el sistema trifásico quedará reducido a tres alambres L_1 , L_2 y L_3 .

Tensión de línea (U)

Es la tensión nominal del sistema trifásico aplicada entre dos de los tres alambres L_1 , L_2 y L_3 .

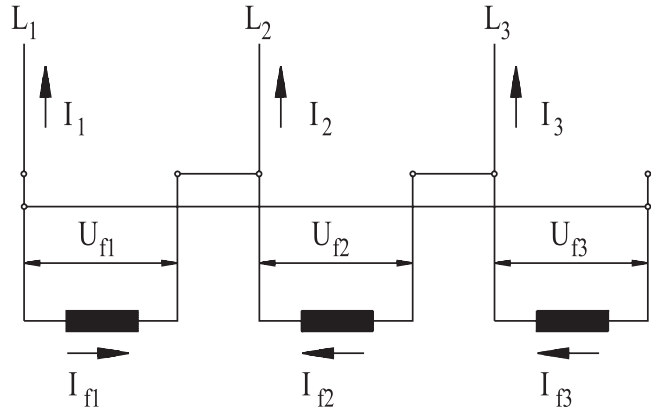


Figura. 1.7a - Conexiones

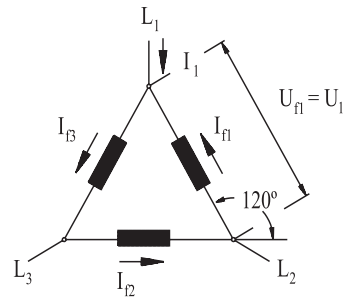


Figura 1.7b - Diagrama eléctrico

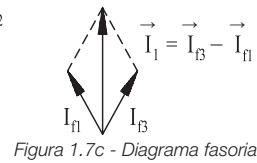


Figura 1.7c - Diagrama fasorial

Corriente de línea (I)

Es la corriente en cualquiera de los tres alambres L_1 , L_2 y L_3 .

Tensión y corriente de fase (U_f and I_f)

Es la tensión y corriente de cada uno de los tres sistemas monofásicos considerados.

Examinando el esquema de la figura 1.7b, se observa que:

$$U = U_f$$

$$I = \sqrt{3} \cdot I_f = 1,732 I_f$$

$$\vec{I} = \vec{I}_{f3} - \vec{I}_{f1} \text{ (Figura 1.7c)}$$

Ejemplo:

Tenemos un sistema equilibrado de tensión nominal 220 V. La corriente de línea medida es 10 A. Conectando a este sistema una carga trifásica compuesta por tres cargas iguales, conectadas en triángulo, ¿cuál será la tensión y la corriente en cada una de las cargas?

Tenemos $U_f = U_1 = 220$ V en cada una de las cargas.

if $I = 1,732 \cdot I_f$, tenemos que $I_f = 0,577 \cdot I = 0,577 \cdot 10 = 5,77$ A en cada una de las cargas.

1.4.2 Conexión Estrella

Conectando uno de los alambres de cada sistema monofásico a un punto común a los tres, los tres alambres restantes forman un sistema trifásico en estrella (figura 1.8a). A veces, el sistema trifásico en estrella es "a cuatro alambres" o "con neutro".

El cuarto alambre es conectado al punto común de las tres fases.

La tensión de línea o tensión nominal del sistema trifásico y la corriente de línea, son definidas del mismo modo que en la conexión triángulo.

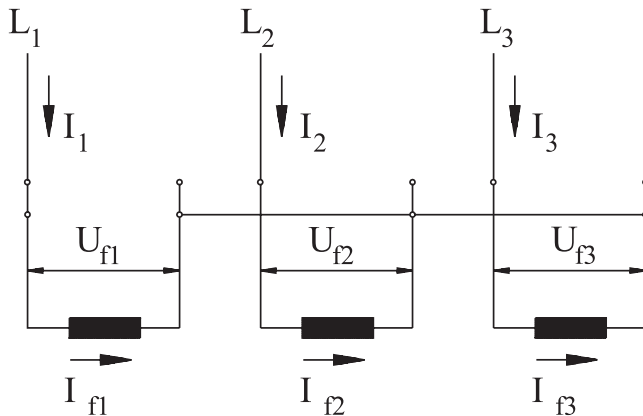


Figura 1.8a - Conexiones

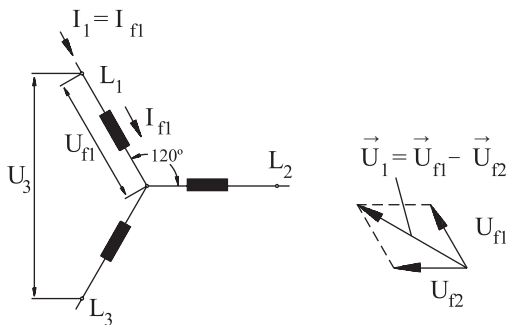


Figura 1.8b - Diagrama eléctrico

Figura 1.8c - Diagrama fasorial

Examinando el esquema de la figura 1.8b, se observa que:

$$I = I_f$$

$$U = \sqrt{3} \cdot U_f = 1.732 \cdot U_f$$

$$\vec{U} = \vec{U}_{f1} - \vec{U}_{f2} \text{ (Figura 1.8c)}$$

Ejemplo:

Tenemos una carga trifásica compuesta por tres cargas iguales; cada carga es hecha para ser conectada a una tensión de 220 V, absorbiendo 5,77 A. ¿Cuál será la tensión nominal del sistema trifásico que alimenta a estas cargas conectadas en estrella, en sus condiciones nominales (220 V y 5,77 A)? ¿Cuál será la corriente de línea?

$$\text{Tenemos } U_f = 220 \text{ V (tensión nominal de cada carga)}$$

$$U = 1,732 \cdot 220 = 380 \text{ V}$$

$$I = I_f = 5,77 \text{ A}$$

1.5 Motor de Inducción Trifásico

El motor de inducción trifásico (figura 1.9) está compuesto fundamentalmente por dos partes: estator y rotor.

Estator

- Carcasa (1) - es la estructura soporte del conjunto de construcción robusta en hierro fundido, acero o aluminioinyectado, resistente a corrosión y normalmente con aletas
- Núcleo de chapas (2) - las chapas son de acero magnético
- Devanado trifásico (8) - tres conjuntos iguales de bobinas, una para cada fase, formando un sistema trifásico equilibrado ligado a red trifásica de alimentación

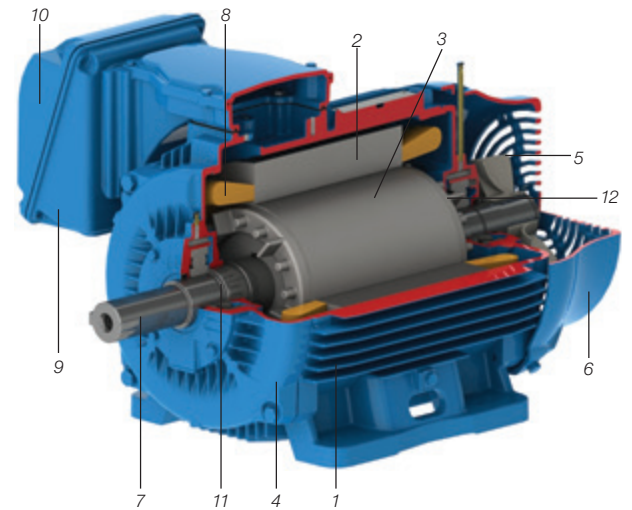


Figura 1.9

Rotor

- Eje (7) - transmite la potencia mecánica desarrollada por el motor
- Núcleo de chapas (3) - las chapas poseen las mismas características de las chapas del estator
- Barras y anillos de cortocircuito (12) - son de aluminio inyectado sobre presión en una única patasza

Otras partes del motor de inducción trifásico:

- Tapa (4)
- Ventilador (5)
- Tapa deflectora (6)
- Caja de conexión (9)
- Terminales (10)
- Rodamientos (11)

En esta guía daremos énfasis al “motor de jaula”, cuyo rotor está constituido por un conjunto de barras no aisladas e interconectadas por anillos de cortocircuito. Lo que caracteriza al motor de inducción es que sólo el estator es conectado a la red de alimentación. El rotor no es alimentado externamente y las corrientes que circulan en el mismo son inducidas electromagnéticamente por el estator, de ahí su nombre de motor de inducción.

1.5.1 Principio de Funcionamiento - Campo Girante

Cuando una bobina es recorrida por una corriente eléctrica, es creado un campo magnético, orientado conforme el eje de la bobina, siendo de valor proporcional a la corriente.

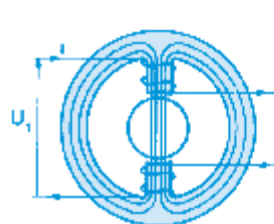


Figura 1.10a

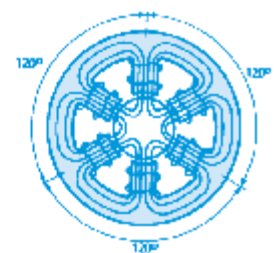


Figura 1.10b

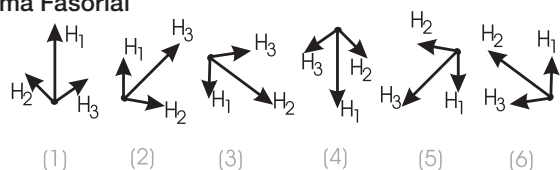
a) En la figura 1.10a es indicado un “devanado monofásico” atravesado por una corriente I y el campo H creado por la misma. El devanado está constituido por un par de polos (un polo “norte” y un polo “sur”), cuyos efectos se suman para establecer el campo H. El flujo magnético atraviesa el rotor entre los dos polos y se cierra a través del núcleo del estator. Si la corriente I es alterna, el campo H también lo es, y su valor a cada instante será representando por el mismo gráfico de la figura 1.4b, inclusive invirtiendo el sentido en cada medio ciclo. El campo H es “pulsante”, ya que su intensidad “varía” proporcionalmente a la corriente, siempre en la “misma” dirección norte-sur

b) En la figura 1.10b es indicado un “devanado trifásico”, que está compuesto por tres monofásicos espaciados entre sí a 120°. Si este devanado es alimentado por un sistema trifásico, las corrientes I₁, I₂ e I₃ crearán, del mismo modo, sus propios campos magnéticos H₁, H₂ y H₃. Estos campos son desplazados 120° entre sí. Además de eso, como son proporcionales a las respectivas corrientes, serán desfasados en el tiempo, también a 120° entre sí, pudiendo ser representados por un grafico igual al de la figura 1.6

El campo total H resultante, a cada instante, será igual a la suma grafica de los tres campos H1, H2 y H3 en aquel instante.

En la figura 1.11, representamos esta suma gráfica para seis instantes sucesivos.

Diagrama Fasorial



Fasor/Vector

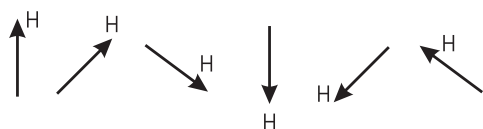


Figura 1.11

En el instante (1), la figura 1.11, muestra que el campo H1 es máximo y los campos H2 y H3 son negativos y de mismo valor, iguales a 0,5.

El campo resultante (suma gráfica) es mostrado en la parte inferior de la figura 1.11 (1), teniendo la misma dirección del devanado de la fase 1.

Repitiendo la construcción para los puntos 2, 3, 4, 5 y 6 de la figura 1.6, se observa que el campo resultante H tiene intensidad “constante”. No obstante, su dirección irá “girando”, completando una vuelta al fin de un ciclo.

De esta forma, cuando un devanado trifásico es alimentado por corrientes trifásicas, se crea un “campo girante”, como si hubiese un único par de polos girantes, de intensidad constante. Este campo girante, creado por el devanado trifásico del estator induce tensiones en las barras del rotor (líneas de flujo magnético cortan las barras del rotor), que por estar cortocircuitadas generan corrientes, y, consecuentemente, un campo en el rotor, de polaridad opuesta a la del campo giratorio del estator. Como campos opuestos se atraen

y como el campo del estator es rotativo, el rotor tiende a acompañar la rotación de este campo. Se desarrolla entonces, en el rotor, un conjugado motor que hace que el mismo gire, accionando la carga.

1.5.2 Velocidad Síncrona (ns)

La velocidad síncrona del motor es definida por la velocidad de rotación del campo giratorio, la cual depende del número de polos (2p) del motor y de la frecuencia (f) de la red, en Hertz. Los devanados pueden ser construidos con uno o más pares de polos, los que se distribuyen alternadamente (uno “norte” y uno “sur”) a lo largo de la periferia del núcleo magnético. El campo giratorio recorre un par de polos (p) a cada ciclo. De esta forma, como el devanado tiene polos o “p” pares de polos, la velocidad del campo es:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{120 \cdot f}{2p} \quad (\text{rpm})$$

Ejemplos:

a) ¿Cuál es la rotación síncrona de un motor de VI polos, 50 Hz?

$$n_s = \frac{120 \cdot 50}{6} = 1000 \text{ rpm}$$

b) ¿Motor de XII polos, 60 Hz?

$$n_s = \frac{120 \cdot 60}{12} = 600 \text{ rpm}$$

Note que el número de polos del motor tendrá que ser siempre par, para formar los pares de polos. Para las frecuencias y “polaridades” usuales, las velocidades síncronas son:

Nº de polos	Rotación síncrona por minuto	
	60 Hertz	50 Hertz
2	3.600	3.000
4	1.800	1.500
6	1.200	1.000
8	900	750
10	720	600

Tabla 1.3 - Velocidades síncronas.

Para motores de “dos polos”, como en el ítem 1.5.1, el campo recorre una vuelta a cada ciclo. De esta forma, los grados eléctricos equivalen a los grados mecánicos. Para motores con más de dos polos, de acuerdo con el número de polos, un giro “geométrico” menor es recorrido por el campo.

Ejemplo:

Para un motor de VI polos tendremos, en un ciclo completo, un giro del campo de $360^\circ \times 2/6 = 120^\circ$ mecánicos. Esto equivale, lógicamente, a 1/3 de la velocidad en II polos. Se concluye que:

$$\text{Grados eléctricos} = \text{Grados mecánicos} \times p$$

1.5.3 Deslizamiento (s)

Si el motor gira a una velocidad diferente de la velocidad síncrona, o sea, diferente de la velocidad del campo girante, el devanado del rotor “corta” las líneas de fuerza magnética del campo y, por las leyes del electromagnetismo, circularán por el mismo corrientes inducidas. Cuanto mayor sea la carga, mayor tendrá que ser el conjugado necesario para accionarla.

Para obtener un mayor conjugado, tendrá que ser mayor la diferencia de velocidad, para que las corrientes inducidas y los campos producidos sean mayores. Por lo tanto, a medida que la carga aumenta, la rotación del motor disminuye. Cuando la carga es cero, motor en vacío, el rotor girará prácticamente con la rotación síncrona.

La diferencia entre la velocidad del motor (n) y la velocidad síncrona (n_s) se llama deslizamiento (s), que puede ser expresado en rotaciones por minuto (rpm), como fracción de la velocidad síncrona, o incluso como porcentaje de ésta:

$$s \text{ (rpm)} = n_s - n; \quad s = \frac{n_s - n}{n_s}; \quad s \text{ (}\% \text{)} = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100$$

Por lo tanto, para un deslizamiento dado s (%), la velocidad del motor será:

$$n = n_s \cdot \left(1 - \frac{s \text{ (}\% \text{)}}{100} \right)$$

Ejemplo:

¿Cuál es el deslizamiento de un motor de VI polos, 50 Hz, si su velocidad es de 960 rpm?

$$s \text{ (}\% \text{)} = \frac{1000 - 960}{1000} \cdot 100$$

$$s \text{ (}\% \text{)} = 4\%$$

1.5.4 Velocidad Nominal

Es la velocidad (rpm) del motor funcionando a potencia nominal, sobre tensión y frecuencia nominales. Conforme fue visto en el ítem 1.5.3, depende del deslizamiento y de la velocidad síncrona.

$$n = n_s \cdot \left(1 - \frac{s \text{ (}\% \text{)}}{100} \right) \text{ rpm}$$

1.6 Materiales y Sistemas de Aislamiento

Siendo el motor de inducción, una máquina robusta y de construcción simple, su vida útil depende casi exclusivamente de la vida útil del aislamiento del devanado.

La misma es afectada por muchos factores, como humedad, vibraciones, ambientes corrosivos y otros. Entre todos los factores, el más importante es, sin duda, la temperatura soportada por los materiales aislantes empleados. Un aumento de 8 a 10 grados por encima del límite de la clase térmica de la temperatura del aislamiento puede reducir la vida útil del devanado por la mitad. Para un mayor tiempo de vida del motor eléctrico recomendamos la utilización de sensores térmicos para protección del devanado. Cuando hablamos de disminución de la vida útil del motor, no nos

referimos a temperaturas elevadas, cuando el aislante se quema y el devanado es destruido repentinamente. La vida útil del aislamiento (en términos de temperatura de trabajo, sensiblemente por debajo de aquella en que el material se quema), se refiere al envejecimiento gradual del aislante, que se va tornando reseco, perdiendo el poder aislante, hasta que no soporta más la tensión aplicada y produzca el cortocircuito.

La experiencia muestra que el aislamiento tiene una duración prácticamente ilimitada, si su temperatura es mantenida por debajo del límite de su clase térmica. Por encima de este valor, la vida útil del aislamiento se torna cada vez más corta, a medida que la temperatura de trabajo es más alta. Este límite de temperatura es mucho más bajo que la temperatura de “quema” del aislante y depende del tipo de material empleado. Esta limitación de temperatura se refiere al punto más caliente del aislamiento y no necesariamente a todo el devanado. Evidentemente, basta un “punto débil” en el interior de la bobina para que el devanado quede inutilizado. Con el uso cada vez más intenso de convertidores de frecuencia, para variación de velocidad de los motores de inducción, también deben ser observados otros criterios de la aplicación para la preservación de la vida del sistema de aislamiento del motor. Más detalles pueden ser vistos en el ítem “Influencia del convertidor en el aislamiento del motor”.

1.6.1 Material Aislante

El material aislante impide, limita y direcciona el flujo de las corrientes eléctricas. A pesar de que la principal función del material aislante sea la de impedir el flujo de corriente de un conductor para tierra o para un potencial más bajo, el mismo sirve también para dar soporte mecánico, proteger el conductor de degradación provocada por el medio ambiente y transferir calor para el ambiente externo.

Gases, líquidos y sólidos son usados para aislar equipos eléctricos, conforme las necesidades del sistema.

Los sistemas de aislamiento influyen en la buena calidad del equipamiento, el tipo y la calidad del aislamiento, afectan el costo, el peso, el desempeño y la vida útil del mismo.

1.6.2 Sistema Aislante

Una combinación de dos o más materiales aislantes, usados en un equipo eléctrico, se denomina sistema aislante.

Esa combinación en un motor eléctrico consiste en el esmalte de aislamiento del alambre, aislamiento de fondo de ranura, aislamiento de cierre de ranura, aislamiento entre fases, barniz y/ o resina de impregnación, aislamiento del cable de conexión, aislamiento de soldadura. Cualquier material o componente que no esté en contacto con la bobina, no hace parte del sistema de aislamiento.

1.6.3 Clases Térmicas

Como la temperatura en productos electromecánicos es frecuentemente el factor predominante para el envejecimiento del material aislante y del sistema de aislamiento, ciertas clasificaciones térmicas básicas son útiles y reconocidas mundialmente.

Los materiales y sistemas aislantes son clasificados conforme la resistencia a la temperatura por largo período de tiempo. Las normas citadas a seguir se refieren a la clasificación de materiales y sistemas aislantes:

Materiales	Sistemas	Materiales y Sistemas
UL 746B	UL 1446	IEC 60085
IEC 60216	UL 1561 / 1562	
	IEC 60505	
	IEEE 117	

Tabla 1.4 - Normas de materiales y sistemas aislantes.

Las clases térmicas definidas para los materiales y sistemas aislantes son las siguientes:

Temperatura (°C)	Clases de temperatura	
	IEC 60085	UL 1446
90	Y (90 °C)	-
105	A (105 °C)	-
120	E (120 °C)	120 (E)
130	B (130 °C)	130 (B)
155	F (155 °C)	155 (F)
180	H (180 °C)	180 (H)
200	N (200 °C)	200 (N)
220	R (220 °C)	220 (R)
240	-	240 (S)
Por encima de 240°C	-	Por encima de 240 (°C)
250	250	

Tabla 1.5 - Clases térmicas.

IEC - International Electrotechnical Commission - organización internacional no gubernamental de normas del área eléctrica, electrónica y de tecnologías relacionadas.

UL - Underwriters Laboratories - Entidad norteamericana de certificación de productos.

Se especifica que en un equipamiento electromecánico, la clase térmica representa la temperatura máxima que el equipamiento puede alcanzar en su punto más caliente, al estar operando en carga nominal, sin disminución de la vida útil. La clasificación térmica de un material, o sistema, está basada en la comparación con sistemas o material de referencia conocidos. Sin embargo, en los casos en que no se conoce ningún material de referencia, la clase térmica puede ser obtenida extrapolando la curva de durabilidad térmica (Gráfico de Arrhenius) para un dado tiempo (IEC 216 especifica 20.000 horas).

1.6.4 Materiales Aislantes en Sistemas de Aislamiento

La especificación de un producto en una determinada clase térmica no significa, ni implica, que cada material aislante usado en su construcción tenga la misma capacidad térmica (clase térmica). El límite de temperatura para un sistema de aislamiento no puede ser directamente relacionado a la capacidad térmica de los materiales individuales utilizados en ese sistema. En un sistema, la performance térmica de un material puede ser mejorada a través de características protectoras de ciertos materiales usados con ese material. Por ejemplo, un material de clase 155 °C puede tener su desempeño mejorado cuando el conjunto es impregnado con barniz de clase 180 °C.

1.6.5 Sistemas de Aislamiento WEG

Para atender las variadas exigencias del mercado y aplicaciones específicas, aliadas a un excelente desempeño técnico, son utilizados nueve sistemas de aislamiento en los diversos motores WEG.

El alambre circular esmaltado es uno de los componentes más importantes del motor, ya que es la corriente eléctrica circulando por el mismo la que crea el campo magnético necesario para el funcionamiento del motor. Durante la fabricación del motor, los alambres son sometidos a esfuerzos mecánicos de tracción, flexión y abrasión. En funcionamiento, los efectos térmicos y eléctricos actúan también sobre el material aislante del alambre.

Por esa razón, el mismo debe tener un buen aislamiento mecánico, térmico y eléctrico.

El esmalte utilizado actualmente en los alambres garantiza esas propiedades, siendo la propiedad mecánica asegurada por la camada externa del esmalte que resiste a fuerzas de abrasión durante la inserción del mismo en las ranuras del estator. La camada de esmalte interna garantiza alta rigidez dieléctrica y el conjunto, atribuye clase 200 °C al alambre (UL File E234451). Ese alambre es utilizado en todos los motores clase B, F y H. En los motores para extracción de humo (Smoke Extraction Motor) el alambre es especial para altísimas temperaturas.

Los films y laminados aislantes tienen la función de aislar térmica y eléctricamente partes de la bobina del motor. La clase térmica es identificada en la placa de identificación. Éstos son a base de aramida y poliéster y poseen films y laminados, siendo usados en los siguientes puntos:

- entre la bobina y la ranura (film de fondo de ranura): para aislar el paquete de chapas de acero (tierra) de la bobina de alambres esmaltados
- entre las fases: para aislar eléctricamente las fases, una de la otra
- cierre de la ranura del estator para aislar eléctricamente la bobina localizada en la parte superior de la ranura del estator y para actuar mecánicamente de modo de mantener los alambres dentro de la ranura

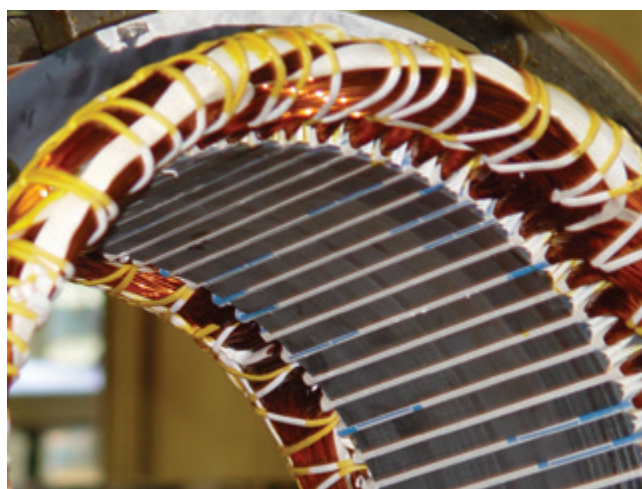


Figura 1.12a - Alambres y Films aplicados en el estator.

Los barnices y resinas de impregnación tienen como principales funciones mantener unidos entre sí todos los alambres esmaltados de la bobina con todos los componentes del estator y el relleno de los espacios vacíos dentro de la ranura. La unión de los alambres impide que los mismos vibren y se rocen entre sí. El roce podría provocar fallas en el esmalte del alambre, llevándolo a un cortocircuito. La eliminación de los espacios vacíos ayuda en la disipación térmica del calor generado por el conductor y, especialmente en aplicaciones de motores alimentados por convertidores de frecuencia, evita/disminuye la formación de descargas parciales (efecto corona) en el interior del motor.

Actualmente se utilizan dos tipos de barnices y dos tipos de resinas de impregnación, todos a base de poliéster, para atender las necesidades constructivas y de aplicación de los motores.

La resina de silicona es utilizada apenas para motores especiales proyectados para altísimas temperaturas.

Los barnices y resinas mejoran las características térmicas y eléctricas de los materiales impregnados pudiéndosele atribuir una clase térmica mayor a los materiales impregnados, cuando son comparados a los mismos materiales sin impregnación. Los barnices son aplicados por el proceso de inmersión y posterior cura en estufa. Las resinas (exentas de solventes) son aplicadas por el proceso de Flujo Continuo.

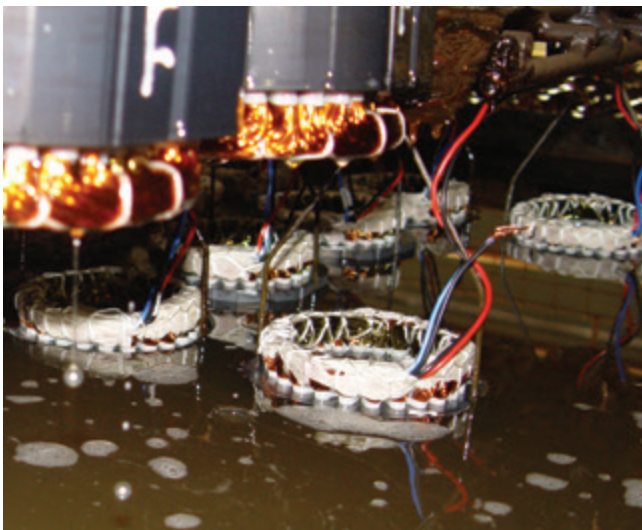


Figura 1.12.b - Impregnación por Inmersión.



Figura 1.12.c - Flujo continuo de resina.

Los cables de conexión son construidos con materiales aislantes elastoméricos y de la misma clase térmica del motor. Esos materiales tienen, única y exclusivamente, la función de aislar eléctricamente el conductor del medio externo. Los mismos tienen alta resistencia eléctrica, aliada a una adecuada flexibilidad, para permitir la fácil manipulación durante el proceso de fabricación, instalación y mantenimiento del motor. Para ciertas aplicaciones como bombas sumergidas, el cable también debe ser químicamente resistente al aceite de la bomba. Los tubos flexibles tienen la función de cubrir y aislar eléctricamente las soldaduras de las conexiones entre los alambres de la bobina y el cable de conexión, así como entre alambres. Son flexibles para permitir que se amolden a los puntos de soldadura y al amarrado de la cabeza de la bobina. Se utilizan tres tipos de tubos:

- Tubo de poliéster termoencogible - Clase 130 °C
- Tubo con trama de poliéster recubierto con resina acrílica - Clase 155 °C
- Tubo con trama de fibra de vidrio recubierto con goma de silicona - Clase 180 °C



2. Características de la Red de Alimentación

2.1 El Sistema

Generalmente, el sistema de alimentación puede ser monofásico o trifásico. El sistema monofásico es utilizado en servicios domésticos, comerciales y rurales, mientras que el sistema trifásico se utiliza en aplicaciones industriales, ambos con frecuencia de red en 50 o 60 Hz.

2.1.1 Trifásico

Las tensiones trifásicas más usadas en las redes industriales son:

- Baja tensión: 220 V, 380 V y 440 V
- Alta tensión: 2.300 V, 4.160 V y 6.600 V

El sistema trifásico estrella de baja tensión, consiste en tres conductores de fase (L1, L2, L3) y el conductor neutro (N), siendo éste, conectado al punto estrella del generador o al devanado secundario de los transformadores (conforme muestra la figura 2.1).

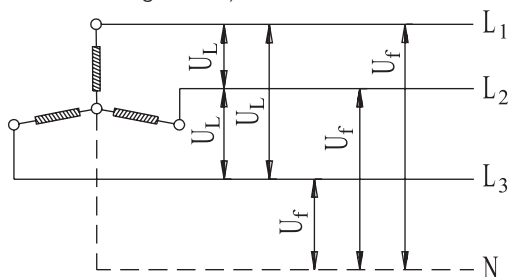


Figura 2.1 - Sistema trifásico.

2.1.2 Monofásico

Las tensiones monofásicas estandarizadas más comunes son las de 127 V y 220 V.

Los motores monofásicos son conectados a dos fases (tensión de línea U_L) o a una fase y neutro (tensión de fase U_f). De esta forma, la tensión nominal del motor monofásico deberá ser igual a la tensión U_L o U_f del sistema. Cuando varios motores monofásicos son conectados al sistema trifásico (formado por tres sistemas monofásicos), se debe tener cuidado para distribuirlos de manera uniforme, evitando así, desequilibrio de carga entre las fases.

Monofásico con retorno por tierra - MRT

El sistema monofásico con retorno por tierra - MRT - es un sistema eléctrico en el que la tierra funciona como conductor de retorno de la corriente de carga. El MRT se presenta como solución para el empleo en el sistema monofásico, a partir de alimentadores que no tienen el conductor neutro. Dependiendo de la naturaleza del sistema eléctrico existente y de las características del suelo donde será implantado (generalmente en la electrificación rural), se tiene:

a) Sistema unifilar

Es la versión más práctica y económica del MRT, no obstante, su utilización sólo es posible donde la salida de la subestación de origen es estrella puesta a tierra.

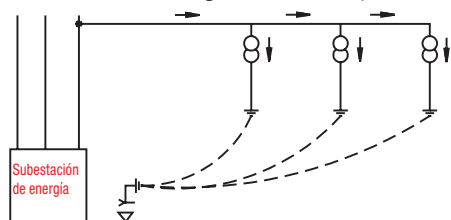


Figura 2.2 - Sistema unifilar.

b) Sistema unifilar con transformador de aislamiento

Este sistema posee algunas desventajas, además del costo del transformador, tales como:

- Limitación de la potencia del ramal a la potencia nominal del transformador de aislamiento
- Necesidad de reforzar la puesta a tierra del transformador de aislamiento, ya que en su falta, cesa el suministro de energía para todo el ramal

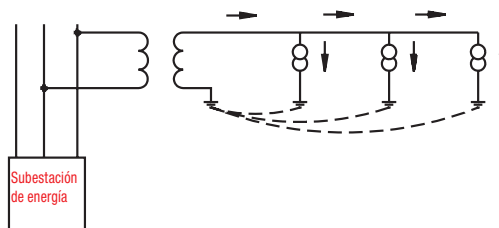


Figura 2.3 - Sistema unifilar con transformador de aislamiento.

c) Sistema MRT en la versión neutro parcial

Es empleado como solución para la utilización del MRT en regiones de suelos de alta resistividad, cuando se torna difícil obtener valores de resistencia de tierra de los transformadores dentro de los límites máximos establecidos en el proyecto.

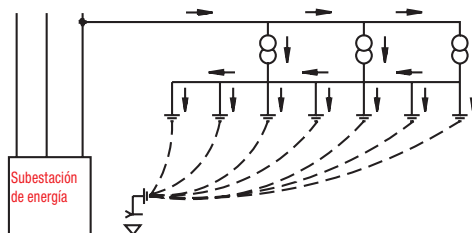


Figura 2.4 - Sistema MRT en la versión neutro parcial.

3. Características de Alimentación del Motor Eléctrico

3.1 Tensión Nominal

Es la tensión para la cual el motor fue proyectado.

3.1.1 Tensión Nominal Múltiple

La gran mayoría de los motores es suministrada con diferentes tipos de conexión, de modo de que puedan funcionar en redes de por lo menos dos tensiones diferentes. Los principales tipos de conexión de motores para funcionamiento en más de una tensión son:

a) Conexión serie-paralela

El devanado de cada fase está dividido en dos partes (vale recordar que el número de polos es siempre par, de modo que este tipo de conexión es siempre posible):

- Conectando las dos mitades en serie, cada mitad que dará con la mitad de la tensión de fase nominal del motor
- Conectando las dos mitades en paralelo, el motor podrá ser alimentado con una tensión igual a la mitad de la tensión de la condición anterior, sin que se altere la tensión aplicada a cada bobina. Vea los ejemplos de las figuras 3.1a y b