

14



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

## AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRONICO  
P R E S E N T A  
FERNANDO DÍAZ QUINTANA



DIRECTOR DE TESIS

ING. HUGO A. GRAJALES ROMAN

CIUDAD UNIVERSITARIA 2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para ser depositada en la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Fernando Díaz

Quintana

FECHA:

31/Oct/2002

FIRMA:

[Firma]

*A mis padres...*

## *Agradecimientos*

*A mis padres por el apoyo que siempre me han brindado y sin el cual no hubiera sido posible esto.*

*A mi familia por su apoyo.*

*A mi esposa por ser parte fundamental en mi vida y mi apoyo incondicional.*

*A mi hija que es mi motivo de superación.*

*A mis profesores por transmitirme sus conocimientos.*

*A la UNAM por la oportunidad inigualable de preparación que me brinda.*

*A Dios por la gracia de la vida.*

<b>1. Análisis del consumo de energía</b>	<b>1</b>
1.1. Gasto de recursos energéticos renovables y no renovables en la producción de energía eléctrica	2
1.2. Contaminación ambiental	10
1.3. Crecimiento de la demanda de energía eléctrica	14
1.4. Políticas energéticas	16
1.5. Horario de verano como política de ahorro	23
1.6. Carga eléctrica, curvas ideales y curvas reales	28
1.7. Control de generación (conceptos básicos)	31
1.8. Clasificación de las centrales generadoras	31
1.9. Clasificación de las unidades	32
1.10. Pérdidas de energía en sistemas eléctricos	35
1.11. Normas	37
<b>2. Motores eléctricos y sus principios de funcionamiento</b>	<b>40</b>
2.1. Tipos de motores eléctricos	40
2.2. Principio de funcionamiento	42
2.2.1. Ley de Faraday	42
2.2.2. Ley de Lenz	43
2.3. Generador de corriente alterna	44
2.4. Motor de corriente alterna	46
2.5. Aplicación de los motores eléctricos	48
2.6. Aspectos constructivos	50
<b>3. Características de los motores eléctricos</b>	<b>58</b>
3.1. Características generales	58
3.2. Características del motor de corriente alterna	60
3.3. Características del motor de corriente continua	66
3.4. Pérdidas	69
3.5. Eficiencia	72
3.6. Determinación de la eficiencia de un motor	74
<b>4. Ahorro de energía en motores eléctricos</b>	<b>77</b>
4.1. Ahorro de energía en motores eléctricos	77
4.2. Selección adecuada del motor	78
4.3. Correcta instalación del motor	80
4.4. Operación del motor en condiciones satisfactorias	83
4.4.1. Variación del tensión	87
4.4.2. Variación de la frecuencia	89
4.4.3. Corrección del factor de potencia	89
4.5. Reducción de pérdidas en la fabricación de motores	91
4.6. Motor de alta eficiencia	92
4.6.1. ¿Qué es un motor eléctrico de alta eficiencia?	92
4.6.2. ¿Cuándo utilizar motores de alta eficiencia?	96
4.7. Comparación entre un motor estándar y uno de alta eficiencia	97
4.8. Como evaluar la sustitución de un motor estándar por uno de alta eficiencia	98
4.8.1. Metodología de evaluación	99
4.9. Análisis de un caso práctico	103

**Conclusiones**

**110**

**Anexo A**

**113**

**Bibliografía**

**128**

## **CAPÍTULO I**

### **ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA.**

Durante los últimos años el servicio de energía eléctrica ha crecido aceleradamente a nivel mundial, especialmente en países en vías de desarrollo como el nuestro. Asociado a este crecimiento, se observan limitaciones en el desempeño operativo y financiero de este sector con elevados costos económicos para los gobiernos, las empresas suministradoras y los consumidores.

Afortunadamente México cuenta con una amplia gama de recursos energéticos y con cimientos institucionales en ciencia y tecnología, que le permiten una diversificación energética, pero el crecimiento del consumo de energía eléctrica implica o implicará el agotamiento y encarecimiento de los combustibles fósiles y el deterioro del medio ambiente. Es por esto la necesidad de ahorrar y planear un desarrollo sustentable de los recursos energéticos de la nación.

Esto no es fácil ya que existen aun varios impedimentos que no nos permiten alcanzar un ahorro a nivel nacional entre los que destacan:

- El desconocimiento de los usuarios sobre las diferentes alternativas de ahorro de energía.
- El aun reducido mercado de equipos y sistemas relacionados de alta eficiencia.
- Mayor costo de adquisición y altos desembolsos para la compra de equipos y sistemas más eficientes.
- Capacidad institucional limitada para articular acciones de operación y compra a favor de alternativas más eficientes en el uso de energía.

En México existen entidades promotoras del ahorro de energía como la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), por mencionar algunos. Estas instituciones proveen información y apoyos para el ahorro de energía en todos los sectores y en todos los niveles, ya sea industrial, comercial o particular.

Se estima que con la aplicación de los actuales programas de ahorro de energía se podría obtener un ahorro de 12,000 GWh, equivalente a 7 % de las ventas totales de electricidad, y en el 2010, otras más conservadoras indican un ahorro de 32,000 GWh que significaría el 11 % de las ventas totales proyectadas para ese año.

México se esta enfrentando a un gran problema, la creciente demanda acumulada de energía eléctrica que crece a tasas superiores al 6% anual, esto ha propiciado una severa presión sobre el desarrollo tecnológico y las finanzas públicas, por lo cual es sumamente importante mantener una tasa de crecimiento por encima de la demográfica, a efecto de mejorar los niveles de bienestar de la población.

## **1.1 Gasto de recursos energéticos renovables y no renovables en la producción de energía eléctrica.**

Los recursos energéticos son aquellos recursos naturales renovables o no renovables que nos permiten realizar una transformación de algún tipo de energía, en este caso a energía eléctrica. El desarrollo de la industria y el crecimiento de la demanda de energía eléctrica obliga a todos los países a buscar nuevas fuentes de energía y a buscar que estas sean más eficientes para cubrir perfectamente todas sus necesidades.

Para obtener algún tipo de energía como la mecánica o la eléctrica, debemos partir de algún recurso energético para realizar la transformación. Esto implica el gasto de alguno de estos recursos, desencadenando factores como el costo del energético, su explotación, contaminación ambiental y desarrollo sustentable, entre otros

En un inicio la madera fue la primera fuente de energía para el ser humano, pero con el paso de los años y el avance tan acelerado de las necesidades fue necesario buscar nuevas fuentes energéticas. Con el surgimiento de la Revolución Industrial, se optó por el carbón, pero al crecer las necesidades de las industrias se usó más y más el petróleo, siendo hasta ahora una de las principales fuentes de energía.

Durante algunas décadas se han presentado algunas crisis energéticas, lo que ha provocado el aumento o la disminución en el uso del petróleo como recurso, renaciendo en algunas ocasiones el uso del carbón. En la actualidad las naciones industrializadas son las que utilizan la mayor parte de la energía mundial.

El carbón es utilizado como término para designar una gran cantidad de materiales, generalmente este recurso es usado en centrales térmicas para generar vapor de agua destinado a impulsar los generadores eléctricos. Las reservas existentes aun son enormes, la energía que podrían proporcionar se estima en unas veinte veces más que el petróleo, pero su alto costo en métodos para reducir la contaminación en comparación con el petróleo podría reducir su uso.

La combustión tanto del petróleo como del carbón provoca la emisión de partículas de dióxido de azufre ( $SO_2$ ), óxido de nitrógeno (NO) y otras impurezas. A partir de la década de los 90's se incrementó la preocupación por el calentamiento del planeta y el efecto invernadero. Esto hizo que algunos gobiernos tomaran medidas para reducir las emisiones como las de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) producidas por la combustión del carbón, petróleo y gas natural.

Una fuente de energía considerada limpia es la energía nuclear, la cual se genera mediante la fisión de átomos de uranio. Pero este tipo de energía resulta también costoso generarla, ya que implica una serie de procesos industriales muy complejos e interactivos, además que existe una gran oposición al uso de este tipo de energía. Los defensores de la energía nuclear se inclinan por pensar que no hay más alternativa y que el uso de la energía nuclear será generalizado, pero siguen ocultándose o disfrazándose respuestas a algunas preguntas importantes que surgen como ¿ Cuáles son los efectos de recibir bajos niveles de radiación



por periodos prolongados de tiempo?, ¿Qué posibilidades existen de que se produzcan accidentes como el de Chernobil?, ¿Cuáles serían las consecuencias de este desastre?, ¿Qué se hará con los residuos nucleares que siguen activos y siguen siendo peligrosos durante años?, y tal vez la más importante es ¿Qué control y conocimiento se tiene realmente de este tipo de generación?. Son estas preguntas e inquietudes lo que propicia que la construcción de más plantas nucleares siempre sean pospuestas o rechazadas, ya que implica también que se encarezca la manipulación del uranio y el manejo de los desechos radiactivos.

Lo que sí es seguro es que por el momento, el uso de la energía nuclear no se ha incrementado como se esperaba, se estima que para el año 2020 la energía nuclear podría producir del 10 al 17% de la energía mundial. Lo que sí es prácticamente un hecho es que los dos sistemas avanzados de generación nuclear, el reactor auto regenerativo y la tecnología de fusión nuclear, no aportarán contribuciones significativas al suministro de energía hasta mediados o finales del siglo XXI.

El uso de la energía nuclear en el futuro para la producción de electricidad es incierto, ya que depende de los avances tecnológicos en el uso de la energía solar, el cual a diferencia de los combustibles fósiles no genera contaminación, es inagotable y es posible encontrarle grandes aplicaciones.

Otros recursos con los que obtenemos energía eléctrica son el agua, el viento y los procesos geotérmicos, siendo las mas limpias, que nos permiten generar una gran cantidad de energía, pero que desafortunadamente no existen en las cantidades suficientes en todos los lugares del mundo, de ahí la utilización de los combustibles fósiles.

En México las principales fuentes de energía no renovables para la generación de electricidad son los derivados del petróleo con un 75% (básicamente combustoleo con una aportación del 73% y el diesel con una aportación cercana al 2%), el carbón con una aportación del 14%, el gas natural, la energía nuclear y las energías renovables (solar, eólica, biomasa y sobre todo hidráulica) comprenden en conjunto un 11%.

Según estimaciones del Departamento de energía de los EUA se espera que el gas natural se convierta en el combustible mas demandado para la generación eléctrica, esto motivado por las políticas ambientales y desarrollos tecnológicos eficientes.

Si la tendencia continua, y no se pone énfasis en el desarrollo de tecnologías no contaminantes, el principal combustible utilizado en la generación eléctrica mundial en los próximos años será el carbón, que contribuirá con 30.9% en el 2020, seguido por el gas natural que aportara el 26.5 %, el cual crecerá en aproximadamente un 3.9% anual, debido a un mayor desarrollo de tecnologías de generación eléctrica no contaminantes y mas eficientes.

En la figura 1.1 observamos las estadísticas de los energéticos que utilizaremos para la generación de energía eléctrica a nivel mundial, tomando como punto de inicio el año 1999 y las estimaciones para los próximos 18 años.

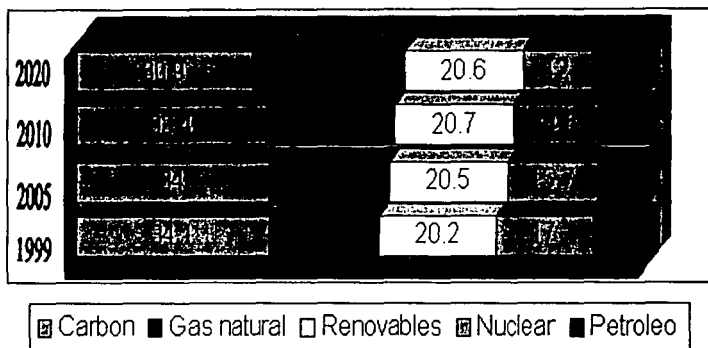


Figura 1.1 Evolución Mundial de los energéticos utilizados en la generación de energía eléctrica

De la gráfica podemos observar que el carbón es y seguirá siendo el principal recurso energético. Es cierto que se aprecia una disminución en el consumo del carbón, disminuyendo desde el 34.1 % al 30.9 %, este podría ser el porcentaje de utilización, pero a nivel mundial se incrementará la cantidad de carbón consumido ya que se incrementará también el número de plantas que funcionan en base al carbón, aumentando de esta forma las emisiones contaminantes.

El gas natural aumentará su participación en la generación de energía eléctrica, incrementándose su porcentaje de utilización en un 7.7 %, de alguna manera esto es preferible ya que se considera que el gas natural contiene o emite un menor número de partículas contaminantes.

Por el lado de los recursos renovables observamos que prácticamente no varía su utilización, ya que se espera un incremento de solo el 0.4 % lo que representa poca actividad en el estudio de este tipo de fuentes como lo podrían ser la eólica, hidráulica y la solar. Esto es preocupante ya que parece ser que no se desarrollará tecnología referente a estos recursos pese a tener un gran potencial.

El uso del petróleo podría tener oscilaciones, esto por la contaminación ambiental, la aplicación de normas ecológicas y probablemente la variación de costos.

En la figura 1.2 observamos los porcentajes de consumo de energéticos por sector y energético para tener una visión más amplia de la cantidad de energéticos que se requieren para la producción y obtención de los satisfactores, siendo la industria y el transporte quienes más demandan energéticos.

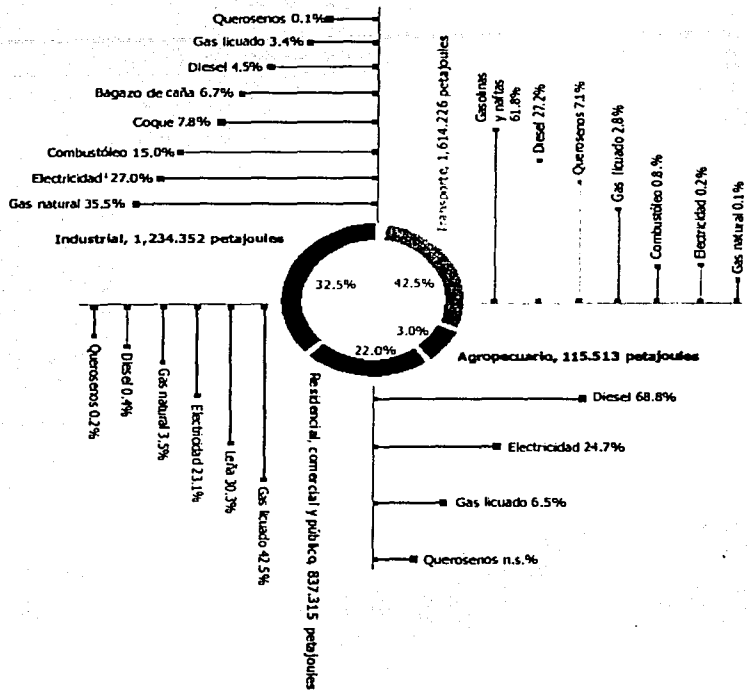


Figura 1.2 Consumo de energéticos por sector y tipos de energéticos en el 2000.

En la tabla 1.1 apreciamos la oferta interna bruta de energía primaria de la década pasada (1989,2000). Observamos que la oferta es grande y no se tiene problemas de abastecimiento, pero esto en unos años puede cambiar ya que se percibe una sobreexplotación de los mismos sin tener realmente un desarrollo sustentable.

La energía primaria que se destinó a transformación la década pasada es prácticamente muy cercana a la oferta interna bruta, esto resalta la importancia de eficientar el uso de estos recursos, ya que al ser demandados en gran cantidad llegara el momento en que los costos se incrementarán al empezar a escasear estos recursos.

En la tabla 1.2 observamos los energéticos primarios destinados a la transformación por tipo de energético y sector.

De continuar así el gasto de estos recursos, lo mas probable será que los precios se disparen, ya que existen muchos países que no cuentan con estos recursos, entonces la demanda crecerá provocando una inflación a nivel mundial y una constante lucha por conseguir los energéticos.

En la tabla 1.3 podemos observar la cantidad de energéticos utilizados para la generación de energía eléctrica y la capacidad de generación instalada desde 1989 al 2000.

Año	Total	Carbón	Petróleo	Condensados	Gasos asociados	Gas asociado	Núcleo energético	Hidroenergía	Gas energía	Energía eólica	Bastón de caña	Leña
1989	8,013.180	140.023	5,594.783	185.954	190.343	1,272.279	3.936	260.786	50.379		82.330	232.367
1990	8,071.974	141.757	5,573.458	227.789	244.152	1,232.918	31.054	251.804	55.297		80.259	233.486
1991	8,322.466	128.723	5,854.583	256.980	233.201	1,188.458	45.925	232.717	58.187		88.229	235.463
1992	8,327.834	119.562	5,844.317	268.220	220.559	1,176.727	41.855	275.798	61.342		81.991	237.463
1993	8,352.706	129.415	5,861.197	151.585	190.045	1,302.149	53.072	274.165	61.417		90.174	239.487
1994	8,240.090	175.000	5,755.278	141.470	203.475	1,333.956	47.781	208.505	58.221	0.042	74.826	241.536
1995	8,156.027	172.707	5,554.085	148.713	238.070	1,275.606	92.986	283.872	58.459	0.062	87.858	243.609
1996	8,937.141	191.191	6,079.177	148.400	286.903	1,432.514	85.581	322.316	58.729	0.051	87.211	245.068
1997	9,355.221	189.709	6,463.785	148.303	281.251	1,489.900	112.495	271.153	56.075	0.041	95.971	246.538
1998	9,520.223	199.411	6,562.912	145.902	362.929	1,490.161	100.471	252.956	58.132	0.051	99.277	248.021
1999	9,405.126	203.846	6,351.474	124.917	422.171	1,456.595	108.260	336.146	57.778	0.062	91.979	251.898
2000	9,661.266	226.702	6,619.787	130.705	435.265	1,410.855	90.331	344.220	61.413	0.083	88.037	253.868
					Variación		Porcentual					
90/89	0.7	1.2	-0.4	22.5	28.3	-3.1	689.0	-3.4	9.8		-2.5	0.5
91/90	3.1	-9.2	5.0	12.8	-4.5	-3.6	47.9	-7.6	5.2		9.9	0.8
92/91	0.1	-7.1	-0.2	4.4	-5.4	-1.0	-8.9	18.5	5.4		-7.1	0.8
93/92	0.3	8.2	0.3	-43.5	-13.8	10.7	26.8	-0.6	0.1		10.0	0.9
94/93	-1.3	35.2	-1.8	-6.7	7.1	2.4	-10.0	-23.9	-5.2		-17.0	0.9
95/94	-1.0	-1.3	-3.5	5.1	17.0	-4.4	94.6	36.1	0.4	47.6	17.4	0.9
96/95	9.6	10.7	9.5	-0.2	20.5	12.3	-8.0	13.5	0.5	-17.7	-0.7	0.6
97/96	4.7	-0.8	6.3	-0.1	-2.0	4.0	31.4	-15.9	-4.5	-19.6	10.0	0.6
98/97	1.8	5.1	1.5	-1.6	29.0	n.s.	-10.7	-6.7	3.7	24.4	3.4	0.6
99/98	-1.2	2.2	-3.2	-14.4	16.3	-2.3	7.8	32.9	-0.6	21.6	-7.4	1.6
00/99	2.7	11.2	4.2	4.6	3.1	-3.1	-16.6	2.4	6.3	33.9	-4.3	0.8
n.s. = no significativo (cifras menores a la unidad de medida).												

Tabla 1.1 Producción de energía primaria en México, 1989-2000 (peta joules)

Año	Mineral	Carbón	Petróleo crudo	Condensados	Gas no asociado	Gas asociado	Núcleos energéticos	Hidroeléctricas	Geotérmica	Energía solar
1989	4,644.625	142.155	2,723.620	126.273	152.579	1,184.897	3.936	260.786	50.379	
1990	4,728.449	143.877	2,750.114	141.641	193.052	1,161.610	31.054	251.804	55.297	
1991	4,771.543	140.672	2,798.681	188.268	185.606	1,121.487	45.925	232.717	58.187	
1992	4,774.124	141.363	2,799.005	184.569	163.412	1,106.780	41.855	275.798	61.342	
1993	4,931.663	160.584	2,854.523	183.606	128.139	1,216.157	53.072	274.165	61.417	
1994	5,024.316	186.814	2,906.633	140.788	144.934	1,330.598	47.781	208.505	58.221	0.042
1995	4,873.726	203.407	2,711.962	148.016	141.554	1,233.408	92.986	283.872	58.459	0.062
1996	5,006.006	235.178	2,708.357	148.401	158.462	1,288.931	85.581	322.316	58.729	0.051
1997	4,986.074	234.587	2,714.419	148.293	146.075	1,302.936	112.495	271.153	56.075	0.041
1998	5,046.894	239.262	2,816.868	145.905	154.864	1,278.385	100.471	252.956	58.132	0.051
1999	5,091.456	242.556	2,802.081	124.917	162.440	1,257.216	108.260	336.146	57.778	0.062
2000	5,121.864	247.136	2,775.712	131.160	170.226	1,301.583	90.331	344.220	61.413	0.083
Variación porcentual										
90/89	1.8	1.2	1.0	12.2	26.5	-2.0	689.0	-3.4	9.8	
91/90	0.9	-2.2	1.8	32.9	-3.9	-3.5	47.9	-7.6	5.2	
92/91	0.1	0.5	n.s.	-2.0	-12.0	-1.3	-8.9	18.5	5.4	
93/92	3.3	13.6	2.0	-0.5	-21.6	9.9	26.8	-0.6	0.1	
94/93	1.9	16.3	1.8	-23.3	13.1	9.4	-10.0	-23.9	-5.2	
95/94	-3.0	8.9	-6.7	5.1	-2.3	-7.3	94.6	36.1	0.4	47.6
96/95	2.7	15.6	-0.1	0.3	11.9	4.5	-8.0	13.5	0.5	-17.7
97/96	-0.4	-0.3	0.2	-0.1	-7.8	1.1	31.4	-15.9	-4.5	-19.6
98/97	1.2	2.0	3.8	-1.6	6.0	-1.9	-10.7	-6.7	3.7	24.4
99/98	0.9	1.4	-0.5	-14.4	4.9	-1.7	7.8	32.9	-0.6	21.6
00/99	0.6	1.9	-0.9	5.0	4.8	3.5	-16.6	2.4	6.3	33.9
n.s. = no significativo (cifras menores a la unidad de medida).										

Tabla 1.2 Energía primaria a transformación, 1989-2000 (peta joules)

Año	Capacidad instalada (MW)												
	Total	Carbón	Uranio	Diesel	Combustible	Gas natural	Carbo-eléctrica	Nucleo-eléctrica	Hidro-eléctrica	Geotermo-eléctrica	Energía eólica	Termo-eléctrica	Total
1989	875,33	78,126	3,936	13,016	668,213	113,043	1,200	675	7,761	700	-	14,784	25,120
1990	925,78	75,043	31,051	15,008	659,375	143,699	1,200	675	7,805	700	-	14,919	25,299
1991	976,22	78,469	45,925	17,195	665,752	168,887	1,200	675	7,932	720	-	16,272	26,799
1992	948,50	81,387	41,855	12,305	656,444	156,616	1,200	675	7,932	730	-	16,531	27,068
1993	987,08	103,301	53,072	13,727	655,613	153,367	1,900	675	8,171	740	-	17,718	29,204
1994	1,163,3	128,262	47,791	13,298	791,100	180,063	1,900	675	9,121	753	-	19,198	31,649
1995	1,125,4	140,122	97,986	10,445	696,544	185,380	2,250	1,309	9,329	753	2	19,394	33,037
1996	1,175,9	170,540	85,581	9,531	718,913	191,371	2,600	1,309	10,034	744	2	20,102	34,791
1997	1,328,3	171,547	112,495	13,268	823,131	207,934	2,600	1,309	10,034	750	2	20,120	34,815
1998	1,445,8	176,112	100,471	19,361	903,743	246,208	2,600	1,309	9,700	750	2	20,895	35,256
1999	1,207,6	178,690	108,260	17,540	887,531	272,971	2,600	1,368	9,618	750	2	21,328	35,666
2000	1,303,0	181,055	90,331	25,147	954,587	333,383	2,600	1,365	9,618	855	2	22,257	36,697
Variación porcentual													
90/89	5.8	-2.7	689.0	29.9	-1.3	27.1	-	-	0.6	-	-	0.9	0.7
91/90	5.4	3.2	47.9	10.2	1.0	17.5	-	-	1.6	2.9	-	9.1	5.9
92/91	-2.8	3.7	-8.9	-28.4	-1.4	-7.3	-	-	-	1.4	-	1.6	1.0
93/92	4.1	26.9	26.8	-4.7	1.4	-2.1	58.3	-	3.0	1.4	-	7.2	7.9
94/93	17.9	24.2	-10.0	13.4	19.3	17.4	-	-	11.6	1.8	-	8.4	8.4
95/94	-3.3	9.2	94.6	-21.5	-12.3	3.0	18.4	93.9	2.3	-	-	1.0	4.4
96/95	4.5	21.7	-8.0	-8.7	3.2	3.2	15.6	-	7.6	-1.2	-	3.7	5.3
97/96	13.0	0.6	31.4	39.2	14.5	8.7	-	-	-	0.8	-	0.1	0.1
98/97	8.8	2.7	-10.7	45.9	9.8	18.4	-	-	-3.3	-	-	3.9	1.3
99/98	-16.5	1.5	7.8	-9.4	-1.8	10.9	-	4.5	-0.8	-	-	2.1	1.2
00/99	7.9	2.4	-16.6	43.4	7.6	22.1	-	-0.2	-	14.0	-	4.4	2.9

Tabla 1.3 Consumo de combustibles para la generación de la electricidad del SEN y capacidad instalada por tipo, 1989-2000 (peta joules)

TESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN

Mucho se ha escuchado hablar acerca de un desarrollo sustentable, pero centrándonos en el caso de México, esto resulta una utopía ya que han estado por encima del desarrollo sustentable los intereses de unos cuantos que ven una magnífica oportunidad de enriquecerse con estos recursos energéticos dejando a un lado temas importantes como la contaminación ambiental, la protección de la biodiversidad y el desarrollo tecnológico.

## 1.2 Contaminación ambiental

El equilibrio térmico de la tierra depende en gran medida de la capa protectora de CO<sub>2</sub>, durante 150,000 años el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se ha mantenido en un valor constante de unas 270 partes por millón (ppm). El CO<sub>2</sub> atrapa los rayos infrarrojos y es el responsable de que la temperatura terrestre sea de unos 31 grados más calida que si no existiera. Este efecto es crucial para el desarrollo de la vida en la tierra, ya que sin este prácticamente toda el agua sería hielo. Sin embargo el contenido del CO<sub>2</sub> se ha incrementado desde 1850 hasta alcanzar 360 ppm. El motivo de este incremento es el aumento progresivo de la combustión de carbón, petróleo y gas.

En el mundo se consumen 8,000 millones de toneladas de petróleo y otros combustibles fósiles al año, y se espera que en el año 2020 se consuman 14,000 millones de toneladas al año. Gran parte de esta demanda es de los países en vías de desarrollo. Según estadísticas, por un crecimiento anual de 1% se incrementa el consumo de energía en un 1.5%, además el rápido crecimiento de la población acentúa el problema.

La concentración en el aire de CO<sub>2</sub> podría duplicar en el año 2030 los valores medios del siglo XX, que se situaban alrededor de 270 ppm, lo que provocará un aumento en la temperatura de unos 2° C de la temperatura actual de la superficie terrestre, así como la subida de unos 4 cm del nivel del mar según las estimaciones de la Conferencia Intergubernamental sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas.

Las emisiones industriales, ya sea por la quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón, diesel, gasolinas) para realizar los diferentes procesos provoca la emisión de productos o desechos químicos volátiles (ácidos, solventes, catalizadores) y la modificación de las condiciones ambientales (calor y liberación de partículas inertes que modifican la visibilidad y la penetración de la luz). Se considera que se producen más de 70 000 compuestos químicos diferentes que se utilizan tanto en la industria como en otras actividades humanas y que, de manera ineludible, paran tarde o temprano a nuestra atmósfera.

El acelerado desarrollo tecnológico que se ha tenido en el mundo, aunado a la creciente preocupación ambiental, son factores que han impulsado estrategias concretas para el aprovechamiento de la energía y la utilización de energías renovables como una opción viable para incrementar la oferta y controlar la demanda de energía.



Estas circunstancias, asociadas a la búsqueda de un desarrollo sostenido y sustentable y a las preocupaciones siempre latentes sobre el agotamiento de los combustibles fósiles, han llevado a algunos países a establecer agresivas estrategias para el uso racional de la energía y el aprovechamiento de la energía renovable.

¿Cómo reducir la contaminación?, existen varias alternativas, pero la mejor es quemar menos combustibles fósiles, en especial los ricos en carbono. Los combustibles como el carbón y el petróleo tienen un alto contenido de azufre, que junto con el nitrógeno provocan emisiones ácidas durante la combustión y causan la lluvia ácida. De ello se desprende que la protección del medio ambiente es hoy uno de los mayores incentivos para el ahorro de energía. Además, al ritmo que llevamos se estima que las reservas de petróleo y gas durarán unos cincuenta años y las de carbón unos doscientos años más, por lo que es de suma importancia también buscar nuevas fuentes de energía, ya que al escasear los combustibles fósiles, estos se encarecerán, incrementándose también el costo de la transformación de energía.

El Consejo Mundial de Energía estima que las fuentes de energía renovables solo podrán aportar un 30% de la demanda mundial en el año 2020 (aunque la cifra podrá llegar a un 60% para el año 2100). En México, según estudios realizados podría ser del 26.5%. En México se han acordado algunos compromisos entre industrias, gobiernos y autoridades ambientales con el fin de lograr una baja emisión de partículas contaminantes y evitar el deterioro ambiental. Entre dichos acuerdos destacan:

- Las empresas del sector eléctrico continuarán desarrollando los sistemas de protección ambiental con los que actualmente cuentan, y se desarrollará en colaboración con la autoridad ambiental, un conjunto de regulaciones que faciliten la aplicación y verificación de los procedimientos ambientales del sector energético.
- Para el 2006, se contará con indicadores comúnmente aceptados tanto por las autoridades energéticas como las ambientales. Existirán además procedimientos uniformes y simplificados para los trámites ambientales en el sector energético, incluyendo los estudios de impacto ambiental y las normas oficiales en esa materia.
- Los programas de protección ambiental específicos de PEMEX, CFE y LFC, así como los programas de ahorro de energía y eficiencia energética en cada una de ellas, se fortalecerán y contarán con metodologías aprobadas para evaluar los ahorros de energía.
- Se espera que una proporción significativa de las plantas del sector hayan obtenido certificaciones ISO 14001, que es la norma sobre sistemas de administración ambiental.
- Se habrán generalizado los programas de colaboración entre las empresas y las comunidades en las cuales operan, bajo el principio de desarrollo sustentable y de manera responsable por parte tanto de las comunidades como de las empresas.

- PEMEX seguirá mejorando la calidad de sus combustibles para que ésta siga siendo comparable a los niveles aceptados internacionalmente. En particular, se están analizando las estrategias más adecuadas para introducir al mercado, en el 2006 gasolina magna con un máximo de 300 ppm de azufre y gasolina premium con un máximo de 50 ppm.
- Los gases efecto invernadero tienen un importante efecto ambiental. Su impacto sobre el clima puede ocasionar cuantiosos daños a la sociedad y a la misma naturaleza. México ya empieza a sufrir de estos problemas y ha asumido la responsabilidad que le corresponde en el planteamiento e implantación de posibles soluciones. México continuará disminuyendo la tasa de crecimiento de sus emisiones y se tiene contemplado desarrollar un conjunto de instrumentos y acciones para aprovechar el beneficio potencial que ofrecen los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático para disminuir dichas emisiones.
- Para el 2005 se espera establecer, coordinado por la CONAE, un mecanismo de validación de proyectos de reducción de emisiones, basado en una metodología sólida y uniforme, que siga criterios universalmente aceptados y que permita crear oportunidades de negocios para empresas mexicanas y extranjeras operando en México en materia ambiental.

Actualmente se cuentan ya con normas mexicanas establecidas para la protección ecológica, estas normas mexicanas son consideradas para la industria eléctrica. Dichas normas son:

- NOM-085-ECOL-1994.- Regula, por zonas y por capacidad, los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes del equipo de combustión de fuentes fijas que utilizan combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.
- NOM-11-ECOL-1998.- Establece las especificaciones de protección ambiental para la implantación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión y subtransmisión eléctrica.
- NOM-001-ECOL-1996.- Establece los límites máximos posibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales.
- NOM-CCA-001-ECOL/96. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las centrales termoeléctricas convencionales.

La Comisión Federal de Electricidad ha asumido también los siguientes compromisos con la protección del ambiente:

1. Proteger al ambiente como un asunto de alta prioridad para nuestra sociedad.
2. Tener conciencia del beneficio de la protección del ambiente para el desarrollo sustentable.
3. Aplicar en las acciones en pro del ambiente todos los conocimientos y prácticas relevantes de la institución y de entidades externas.
4. Realizar los esfuerzos y asignar los recursos necesarios para cumplir estos compromisos.

Derivadas de su misión, la CFE pone en práctica seis políticas que norman su comportamiento en materia ambiental:

1. Se tomarán en cuenta, en todas sus formas, las repercusiones ambientales de las obras y acciones de la empresa, y se buscará cuantificarlas a fin de asegurar que es favorable el balance de beneficios y costos, económicos y de otro tipo, internos y externos.
2. Se considerará que las normas nacionales de protección ecológica fijen el nivel mínimo de cuidado del ambiente, y que la empresa debe ir más allá de ese mínimo cada vez que racionalmente se justifique.
3. Se colaborará con las autoridades en la materia a fin de desarrollar y mejorar las normas y la metodología de protección ambiental.
4. Se incorporarán en la concepción, diseño y seguimiento de las actividades de protección ambiental de la empresa los puntos de vista y recomendaciones fundadas de expertos externos de la mayor calificación profesional.
5. Se tomarán en cuenta las opiniones de los grupos con intereses legítimos en los proyectos de que se trate.
6. En la medida de sus posibilidades la empresa apoyará la educación, la investigación y el desarrollo tecnológico en el campo de la protección ambiental.

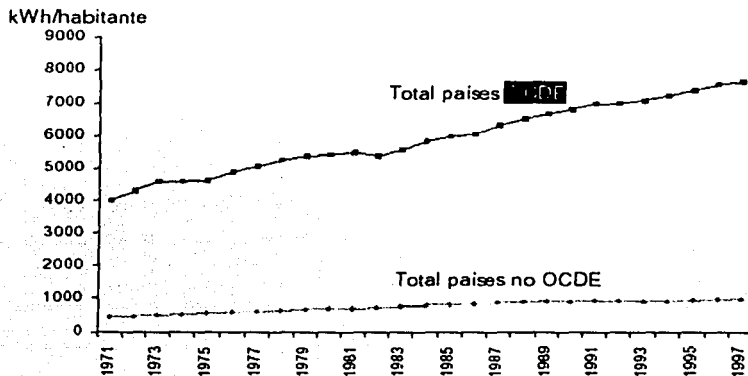
#### *Acciones de protección ambiental*

Para transformar en hechos el compromiso y las políticas ambientales, se estableció un programa institucional de protección ambiental con la participación del FIDE, que contiene acciones relativas a la protección de la calidad del aire, agua, suelo y a la conservación de la flora y fauna en todas las etapas de cada proyecto eléctrico.

### 1.3 Crecimiento de la demanda de energía eléctrica.

En países industrializados la relación del incremento de la demanda eléctrica respecto al crecimiento económico tiende a disminuir debido a que los altos precios relativos de los energéticos propician avances en programas de ahorro de energía, tecnológicos y optimización de los procesos productivos.

En términos de consumo de electricidad por habitante, la tasa es mayor en los países industrializados. Durante el periodo de 1971 a 1998, estos países incrementaron en 90% su consumo por habitante, siete veces por encima del consumo de las naciones en desarrollo



Fuente: Energy balances of noOECD countries, 1996/1997. IEA estadística 1999

Figura 1.3 Consumo per cápita de energía eléctrica

En la figura 1.3 observamos el consumo de energía de los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE) y los que no pertenecen, aquí podemos apreciar las diferencias enormes en el consumo de energía eléctrica, siendo mucho mayor la de los países pertenecientes a la OCDE.

Durante el período 1999-2020, los países en desarrollo tendrán una tasa de crecimiento medio anual del 4.2%, en la demanda de electricidad, impulsada por el elevado aumento poblacional y una mayor industrialización.

En virtud de lo anterior, la participación de las naciones en desarrollo en el consumo neto mundial del energético, se incrementara del 30% al 41% en el período citado.

Las naciones en desarrollo de Centro y Sudamérica, y las de Asia, presentaran mayores crecimientos en el consumo de electricidad, con tasas medias de 4.0% y 4.5% respectivamente.

En el año 2000, el consumo de electricidad por habitante en México fue de 1,615 kWh, valor 10 veces inferior al consumo en Canadá y 8 veces al consumo de EUA. Comparativamente con los países del Sur de América, se encuentra ligeramente por abajo.

El consumo de electricidad en México tendrá una tendencia ascendente en la medida que se incremente la actividad productiva y se mejore el nivel de vida de la población. El ingreso estimado por habitante para México en el 2000, asciende a 5,901 dólares, cifra seis veces inferior al ingreso per capita de EUA y cuatro veces menor que en Canadá.

La capacidad instalada de generación eléctrica en México durante el 2000, alcanzo 40.7 GW, de los cuales 89% los aporto el sistema eléctrico nacional y 11% corresponde a generadores privados.

CFE realiza cada año un estudio del desarrollo de mercado eléctrico para cuantificar las necesidades de capacidad de generación del sistema en los siguientes diez años analizando para ello, los escenarios probables de crecimiento en ventas de energía eléctrica basandose en información referente al consumo existente, las condiciones económicas, demografías y tecnologías empleando modelos econométricos.

Así para conocer la prospectiva del mercado eléctrico en el periodo de 1998-2007, se planteo un escenario factible considerando un crecimiento del PIB del 5.1% y un crecimiento poblacional del 1.3% ambos menores a los de 1997 con un aumento anual del numero de viviendas del 2.5%, al resultado obtenido, se le resto la energía producto del autoabastecimiento con un crecimiento supuesto del 7.7% anual y se incorporaron los ahorros derivados del Horario de Verano, obteniendo así una tasa de crecimiento anual de ventas del 5.8% lo que significa una demanda total de 155.5 TWh en el año 2000 y 229.5 TWh en el año 2007 donde la industria y los grandes servicios, serán los sectores con mayor dinamismo económico.

Luego de determinar el crecimiento de las ventas de energía eléctrica, se analiza el mercado regional con objeto de conocer las necesidades de capacidad y energía. Estos resultados, permiten establecer la magnitud y localización de la capacidad de generación y de las subestaciones así como las líneas de transmisión requeridas.

En la tabla 1.5 se muestra el escenario esperado del crecimiento medio anual de las ventas de electricidad por parte de CFE.

Sector	1998-2000	2000-2007	Intervención estimada
Residencial	6.6	4.4	3.6 - 5.1
Comercial	3.3	5.1	4.1 - 6.1
Servicios	1.3	4.3	3.1 - 5.3
Industrial	5.9	6.9	6.6 - 7.1
Agrícola	2.5	0.5	-0.6 - 1.5
Total (Sin Exportaciones)	5.3	5.8	5.6 - 6.1

Tabla 1.5 Crecimiento esperado medio anual de ventas de electricidad

#### **1.4 Políticas Energéticas.**

Dada la gran necesidad de ahorro de energía se han venido planteando diversas políticas energéticas. En México uno de los organismos que promueven el ahorro es el FIDE, el cual promueve y pone a disposición varios proyectos y programas de apoyo e información de cómo ahorrar energía eléctrica.

Este organismo esta conformado por:

- Comisión Federal de Electricidad.
- Luz y Fuerza del Centro. (LFC)
- Sindicato Único de Trabajadores Electricistas de la República Mexicana.
- Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos.
- Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
- Cámara Nacional de la Industria de la Transformación
- Cámara Nacional de Manufacturas Eléctricas.
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
- Cámara Nacional de Empresas de Consultoría.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.

Año	Generación					Termoelectrónica					Total
	Carbón	Nuclear	Hidro.	Geotérmico	Energía	Vapor	Ciclo	Turbo-gas	Combustión	Diesel	
	eléctrica	eléctrica	eléctrica	eléctrica	reólica	combinado	combinado	combinado	interna		
1989	1,200	675	7,761	700	-	11,300	1,618	1,779	87	-	25,120
1990	1,200	675	7,805	700	-	11,367	1,687	1,779	86	-	25,299
1991	1,200	675	7,932	720	-	12,553	1,818	1,754	147	-	26,799
1992	1,200	675	7,932	730	-	12,787	1,818	1,777	149	-	27,068
1993	1,900	675	8,171	740	-	12,574	1,818	1,777	149	1,400	29,204
1994	1,900	675	9,121	753	2	13,274	1,898	1,777	149	2,100	31,649
1995	2,250	1,309	9,329	753	2	13,594	1,890	1,682	128	2,100	33,037
1996	2,600	1,309	10,034	744	2	14,295	1,912	1,674	121	2,100	34,791
1997	2,600	1,309	10,034	750	2	14,282	1,942	1,675	121	2,100	34,815
1998	2,600	1,309	9,700	750	2	14,283	2,463	1,929	120	2,100	35,256
1999	2,600	1,368	9,618	750	2	14,283	2,464	2,363	118	2,100	35,666
2000	2,600	1,365	9,618	855	2	14,283	3,398	2,360	116	2,100	36,697

<sup>1</sup> SEN = Sistema Eléctrico Nacional (incluye a la Comisión Federal de Electricidad y a Luz y Fuerza del Centro).

Fuente: Información básica 2000, CFE.

Tabla 1.4 Capacidad instalada de generación eléctrica del SEN, 1989-2000

Entre las políticas que plantean se encuentran las siguientes:

- Modificar patrones de consumo de energía eléctrica, consolidando una cultura del ahorro.
- Hacer una amplia difusión del ahorro de energía eléctrica, usando todos los mecanismos y medios disponibles.
- Demostrar que el ahorro de energía eléctrica es técnicamente factible, económicamente rentable y socialmente benéfico.
- Extender la presencia e influencia del FIDE en el país y en el ámbito internacional.
- Lograr la integración plena y sistemática de la gestión del ahorro de energía eléctrica en la planeación del sector.
- Impulsar la aplicación generalizada de medidas de ahorro y uso de equipos de alta eficiencia.
- Ampliar y profundizar las acciones de formación de recursos humanos.
- Propiciar el fortalecimiento de las firmas consultoras que desarrollan proyectos en este campo.
- Fomentar la legislación, normatividad y reglamentación en la materia.
- Contar con mecanismos de evaluación eficiente y oportuna de los programas del FIDE.

El FIDE, para cumplir con su misión y objetivos, ofrece una amplia gama de proyectos de apoyo a servicios municipales, empresas industriales, comerciales y usuarios domésticos; los principales son:

#### *Diagnóstico energético.*

A petición del interesado se realizan diagnósticos energéticos en instalaciones domésticas, a fin de detectar posibles fugas de energía y aplicar medidas ahorradoras en los hogares, dicho diagnóstico comprende:

- a. *Visita a la empresa y recopilación previa de información.* Se realiza una visita a la empresa, de tal forma que el grupo auditor se familiarice con la operación del proceso y se identifiquen las áreas de mayor consumo de energía.
- b. *Recopilación de información.* Una vez hecha la visita y en base a lo encontrado, se comienza con la recopilación de información. Esto facilita la detección y el análisis de las áreas de oportunidad para el ahorro de energía.
- c. *Auditoria de energía.* En este paso se visita a la empresa y se detectan áreas de oportunidad para el ahorro de energía. Se realizan mediciones eléctricas, de pérdidas de calor y de iluminación entre otras; para determinar y cuantificar los posibles ahorros.
- d. *Elaboración de recomendaciones para el ahorro de energía.* Este paso requiere que todas las soluciones propuestas se puedan llevar a cabo técnica y económicamente. Por un lado el aspecto técnico se analiza junto con el personal de la planta hasta lograr satisfacer las restricciones particulares del proceso. En caso de que existan, se determinan los costos de inversión para llevar a cabo la implementación de las recomendaciones. Por lo general se busca que con una inversión mínima o nula se obtengan grandes beneficios económicos.



c. *Apoyo en la implementación de las recomendaciones.* Es importante que la empresa tenga el apoyo por parte del grupo auditor para la implementación de las recomendaciones, por lo tanto el grupo auditor adquiere este compromiso para alcanzar con éxito el total de los beneficios económicos esperados.

*Incentivos.*

Los incentivos es un apoyo económico al que se puede llegar para realizar un reemplazo de los equipos de baja eficiencia por otros de mayor eficiencia, por lo general motores, lámparas, compresores ahorradores, lámparas T-8 y balastos de bajas pérdidas. Este apoyo podría darse mediante una aportación del FIDE o un descuento de CFE en cada pago por la energía consumida. Esto es a nivel empresarial o doméstico, estos programas de apoyo son los programas piloto, pero también se realiza dicho apoyo a nivel internacional, aunque aquí no es económico el apoyo, si lo es en asesoría técnica.

*Financiamiento.*

Son préstamos para la ejecución de proyectos de ahorro de energía eléctrica. Se apoya la realización de diagnósticos y aplicación de medidas en instalaciones de empresas y organismos intensivos en el uso de este recurso. El financiamiento se reembolsa sin intereses durante periodos de entre 2 y 3 años.

La figura 1.4 nos muestra el proceso que se debe seguir para la entrega de incentivos mediante un esquema de operación.

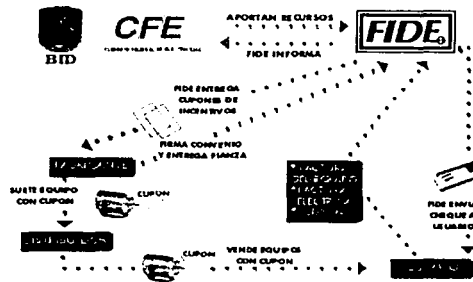


Figura 1.4 Esquema de operación de los incentivos para el ahorro de energía

Existen otras actividades que brinda el FIDE como programas de apoyo al ahorro de energía, entre las que se pueden citar:

### *Capacitación.*

En coordinación con organismos empresariales, instituciones de educación superior y asociaciones de profesionales se imparten diplomados, cursos, talleres y seminarios sobre los principales tópicos del ahorro de energía eléctrica en diversas ciudades del país.

### *Información.*

Para el público en general se cuenta con la revista Energía Racional y el Boletín NOTIFIDE, así como fascículos, hojas caso y diversos materiales impresos que permiten conocer y aplicar medidas para ahorrar energía eléctrica. También existe amplia información impresa y audiovisual sobre las características y beneficios del horario de verano.

### *Equipos ahorradores.*

El FIDE otorga su sello a los equipos y aparatos eléctricos que garantizan el ahorro de este recurso por ser los más eficientes. A nivel nacional esto es importante, ya que de esta forma se puede saber que equipos cumplen con las normas mexicanas y podemos tener la seguridad de que contribuyen al ahorro de energía y a la protección ambiental.

### *Asesoría.*

Las delegaciones del FIDE localizadas en distintas ciudades del país son el vínculo ideal para obtener de una manera rápida y efectiva los diversos apoyos que se ofrecen. Además ofrece asesoría técnica a otros países en diseños de programas de ahorro de energía eléctrica.

Cuenta también con folletos, historietas, juegos didácticos dirigidos a niños, los cuales explican la necesidad de ahorrar energía eléctrica y cómo lograrlo. Existen también exposiciones permanentes sobre el tema en los principales museos para niños, así como en centros de ciencia y cultura. También se cuenta con materiales para apoyar a los maestros de primaria y secundaria en la exposición de este tema.

El FIDE apoya la realización de proyectos que permiten ahorros de energía eléctrica en los sectores industrial, comercial, de servicios y municipal.

### *A nivel industrial se tiene*

- Proyectos de ahorro de energía eléctrica en grupos corporativos y en empresas representativas de ramas industriales de intenso consumo de energía eléctrica.
- Proyectos de ahorro de energía eléctrica en empresas altamente consumidoras con recuperación del costo financiero.
- Financiamientos a corto plazo para la aplicación de medidas de ahorro de energía eléctrica.
- Financiamiento de proyectos contratados bajo esquemas de ahorros garantizados y demostrados.

*A nivel comercial y de servicios*

- Crédito para la instalación de equipos ahorradores de energía eléctrica en nuevas construcciones
- Proyectos en instalaciones de comercios, edificios, servicios y sector educativo.
- Crédito a usuarios que no forman parte de un cadena para la adquisición de equipos, aparatos y materiales ahorradores de energía eléctrica.

*Servicios municipales.*

- Por servicios municipales prácticamente solo se desarrollan proyectos de ahorro de energía eléctrica en alumbrado público.
- Por iniciativa de la CFE el FIDE lleva a cabo proyectos que estimulan el uso de equipos de alta eficiencia.

El FIDE y el PAESE participan activamente desde el año de 1993, en los siguientes comités:

- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), que preside la CONAE.
- El Comité Consultivo Nacional de Normalización de Instalaciones Eléctricas (CCNNIE), que presidido por la Secretaría de Energía, y el Comité Consultivo Nacional de Normalización de Seguridad e Higiene y Medio Ambiente Laboral que encabeza la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Los resultados que ha alcanzado el FIDE con la aplicación de sus programas por sector e industria son:

Sector	Programa	No. de unidades	Ahorro	
			MW	GWh
Domésticos y PYMES	ILUMEX	2,454,922	176	310
	Proyecto piloto	897,031 lámparas y 16,7677 a/a		
	Viviendas Aisladas	72,838		
	Diagnósticos Realizados	10,294		
	Proyectos en PYMES	511		
Proyectos en instalaciones industriales	Proyectos en industrias	655	160	770
Comercios y servicios	Proyectos en comercios y servicios	328	26	81
Servicios Municipales	Proyectos en servicios municipales	189	27	75
Horario de Verano	Medida aplicada desde 1996 hasta el 2001		865	1000
Incentivos y desarrollos de mercado	LFC's Instaladas	4,997,269	144	171
	Motores eléctricos	68,033	42	282
	Unidades de alumbrado	2,342,511	47	73
	Compresores	1,046	12	37
Agropecuario	LFC's en granjas avícolas	1,083,000	203	759
	Pozos de bombeo agrícola	11,654		
TOTAL			1,702	3,558

Tabla 1.6 Resultados alcanzados por el FIDE con la aplicación de sus programas por sector e industria

Aquí podemos resaltar el ahorro obtenido en motores eléctricos, ya que toma el quinto lugar en GWh ahorrados, cifra que se puede mejorar con la participación de la industria al sustituir sus motores dañados, viejos, sobrados o mal seleccionados por uno adecuado de alta eficiencia.

Por parte de los proyectos industriales, que alcanzaron un ahorro de 770 GWh, cabe resaltar que el FIDE proporcione asesoría en instalaciones eléctricas y selección de motores de alta eficiencia.

Los principales beneficios que se obtienen en la aplicación de estos proyectos son:

- Ahorros sustanciales en el consumo de energía.
- Incremento en la productividad de los procesos.
- Estandarización de los procesos productivos.
- Incremento en la competitividad de la empresa.
- Disminución del impacto ambiental del proceso
- Cumplimiento absoluto con la normatividad

### 1.5 Horario de verano como política de ahorro

El horario de verano es una de las políticas energéticas que se aplicó por primera vez durante la primera guerra mundial cuando varios países entre los que se pueden contar Australia, Inglaterra, Estados Unidos y Alemania lo aplicaron con el fin de conservar los energéticos fósiles, escasos en ese tiempo, al reducir las necesidades de iluminación eléctrica en las casas habitación. Después de la guerra el horario se mantuvo en algunos países, pero al iniciar la segunda guerra, nuevamente se recurrió a él.

El tema del horario de verano ha sido motivo de polémicas y discusiones, tanto que el Gobierno Federal pidió un estudio sobre el impacto del horario de verano en la sociedad mexicana, el cual fue realizado por la Universidad Nacional Autónoma de México basándose en datos ya existentes. Entre los datos obtenidos resalta que en cuestiones energéticas se logró un ahorro en iluminación en hogares de menores recursos económicos. En el ámbito nacional se registró un ahorro de 0.6 %, reduciéndose la potencia máxima requerida en 600 MW. En el ámbito de las finanzas se obtienen referentes a precios internacionales, se tiende a reducirse la volatilidad de los mercados, se reducen los riesgos de esperar a abrir operaciones ya que se tiene una sincronía de horario con las bolsas de valores más importantes. En la industria se incrementó un poco la productividad parcial de energía [(Producto)/(Energía Eléctrica)], reduciéndose también el consumo de hidrocarburos y por lo tanto se reducen los contaminantes (0.07 en NO), se usa menos agua de enfriamiento y los productos químicos correspondientes.

#### *Ventajas y desventajas del horario de verano en México.*

En México el establecer el horario de verano fue motivo de polémicas y descontento entre los diversos sectores del país y de la sociedad en general. Las desventajas en el uso del horario de verano prácticamente son sólo comentarios que tiene la opinión pública basadas en su propia experiencia. En cambio las ventajas son prácticamente decretos formulados por el gobierno.

#### *Beneficios.*

Con la aplicación del horario de verano el Gobierno de México evita tener una máquina que de un "jalón", encienda nueve millones de focos de 60 W cada uno al mismo tiempo nada más para prender y apagar de inmediato.

El Director General del CONAE, dice que el horario de verano no se debe medir en función de ahorro individual, sino del servicio que se obtiene.

La ventaja para el sector eléctrico nacional es de primordial importancia ya que la reducción del pico de demanda es importante por que se reducen también los

requerimientos de infraestructura en capacidad instalada (potencia) lo que significa ahorro de miles de millones de pesos en el rubro de inversiones. Por el lado del ahorro de energía eléctrica es pequeño, menos del 1% con respecto al total generado, pero probablemente constituye el logro más importante. Este ahorro a nivel doméstico es demasiado pequeño para ser perceptible en la mayoría de los hogares, pero si es perceptible en los hogares de menores recursos, ya que el costo de la energía eléctrica es un porcentaje muy alto de sus egresos.

Entre las ventajas y desventajas podemos citar las siguientes:

Horario de Verano	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aprovechamiento de la luz natural.</li> <li>▪ Ahorro de energía en el consumo de energía eléctrica.</li> <li>▪ Reducción en la emisión de contaminantes en las zonas de generación de energía eléctrica.</li> <li>▪ Disminución en el sobrecalentamiento de la tierra.</li> <li>▪ Evitar enviar a la atmósfera gases que provocan el efecto invernadero.</li> <li>▪ Beneficio al no llegar al límite de generación en las horas pico, lo cual podría ocasionar paros y apagones o en su caso requerir nuevas plantas de generación sólo para cubrir demandas pico, en verano e invierno.</li> <li>▪ No ocasionar trastornos en cuanto a comunicaciones y transportes.</li> <li>▪ Uniformizar los socios comerciales.</li> <li>▪ Periodos de coincidencia mayor con los países con quienes se mantienen importantes intercambios comerciales, turísticos, aeronáuticos y financieros.</li> <li>▪ Mayor seguridad pública por las tardes.</li> <li>▪ Disminución en número de accidentes.</li> <li>▪ Propicia la convivencia social, recreativa y familiar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Afectaciones negativas a la salud.</li> <li>▪ Norma impopular ya que no toman en cuenta a la ciudadanía y a los congresos locales.</li> <li>▪ Subordinación a los designios externos.</li> <li>▪ Afectación negativa a las actividades escolares.</li> <li>▪ Incremento de la inseguridad pública por las mañanas.</li> <li>▪ Ahorro económico no percibido en la factura eléctrica de los consumidores</li> </ul>

Tabla 1.7 Ventajas y desventajas de horario de verano según la opinión pública

El oponerse al cambio de horario de verano es más que nada un rechazo público a este ahorro, ya que las encuestas nos indican que el impacto a la salud es prácticamente nulo, además intervienen más que nada causas políticas para tal oposición.

*Impacto del horario de verano en la sociedad.*

Entre los resultados más sobresalientes obtenidos tenemos los siguientes:

Tabla 1.8 Impacto del horario de verano en la Sociedad Mexicana.

Área	Efectos	Impacto
Comercio	<p>Ventas</p> <p>Actividad</p> <p>Otro efecto</p>	<p>Ninguno (58.3%), pos. (18.2%), neg. (23.5%)</p> <p>Ninguno (63%), pos. (16.4%), neg. (20.6%)</p> <p>Ninguno (73%), Pos (11%), neg (17%)</p>
Familia	<p>Percepción de la medida del cambio del horario de verano (CHV).</p> <p>Contratiempos sufridos.</p> <p>Rutinas cotidianas (despertarse, desayunos, comidas...).</p> <p>Rutinas de Trabajo.</p> <p>Cultura y uso de la energía</p>	<p>48% en desacuerdo, 32% de acuerdo. (El porcentaje de desacuerdo fue el de los adultos. 45.8% no tuvo problemas en los últimos dos meses.</p> <p>Aproximadamente 50% si fue afectado, y el otro 50% no lo fue.</p> <p>49.6% se sintió afectado, 42.8% no fue afectado.</p> <p>El 65.8% trabajo lo mismo, el 21% siente que trabaja más.</p> <p>Percepción de que CVH no es nada efectivo en ahorro de energía 43%. Poco efectivo 22% Perciben que no es efectivo apagar las luces de oficinas en la noche (79.8) y alumbrado publico de día (83%).</p>
Finanzas	<p>Volumen de transacciones.</p> <p>Volatilidad de mercados.</p> <p>Exposición de riesgo.</p> <p>Conveniencia para realizar negocios.</p>	<p>Bajo, ya que ofrece referentes de precios internacionales.</p> <p>Bajo, ya que tiende a reducirla.</p> <p>Bajo, ya que tiende a reducir el riesgo de esperar a abrir operaciones.</p> <p>Bajo por la sincronía de horas de trabajo.</p>

Área	Procesos	Impacto
Individuo	<p>Índice de bienestar subjetivo de tipo cognitivo (funcional) en actividades de descanso.</p> <p>Índice de bienestar cognitivo (funcional) en otras actividades cotidianas.</p> <p>Índice de bienestar subjetivo de tipo afectivo (emocional) en distintas actividades cotidianas.</p> <p>Índice de bienestar subjetivo de tipo general, sin particularizar en actividades cotidianas.</p> <p>Cuestionan validez de argumentación de las actividades.</p>	<p>Negativo 68.1%, Neutro 31.9%.</p> <p>Hogar: 58.6% neutro o positivo. Transporte: 48.1% neutro, 42.1 negativo. Trabajo: 70-80% neutro.</p> <p>Hogar: 63.9% neutro. Transporte: 68.3% neutro. Trabajo: 65-80% neutro.</p> <p>49.3% piensa aplicación política de CHV es negativo con relación al bienestar afectivo. 65.4% piensa CHV tiene efectos negativos con relación al bienestar cognitivo(funcional)</p> <p>No hay ahorro de energía Ejemplo de centralismo. Solo beneficia a los ricos. Falla al informar.</p> <p>Resultado 69% se oponen a la aplicación del CHV.</p>
Industria	<p>Productividad Parcial Energética. (Producto/Energía Eléctrica.)</p> <p>Productividad Parcial Mano de Obra. (Producto/Mano de Obra.)</p>	<p>Se incrementa un poco con CHV, pero dispersión se empeora</p> <p>Se disminuye la dispersión</p>
Medio Ambiente	<p>Contaminación Atmosférica local.</p> <p>Contaminación del agua.</p> <p>Desechos Sólidos</p> <p>Biodiversidad</p>	<p>Se reducen contaminantes (0.07%) en NO.</p> <p>Se reduce uso de agua de enfriamiento y productos químicos correspondientes; positivo bajo.</p> <p>Insignificante el impacto</p> <p>Ninguno.</p>



Ayer	Procesos	Impacto
Energía	Ahorro de energía eléctrica por iluminación a hogares.	Favorece a los hogares de menores recursos económicos.
	Uso de aire acondicionado.	Negativo, ya que mas luz solar da lugar a más uso.
	A nivel nacional; ahorro de energía eléctrica (1996).	0.6% de ahorro
	A nivel nacional; reducción de potencia máxima requerida(1996)	600MW de reducción.

México se puso como meta el alcanzar en el año 2000 una disminución anual del consumo del orden de 1,436 MW de la demanda máxima en las horas pico.

El ahorro acumulado hasta 1999 se muestra en las siguientes tablas.

Año	Millones de kW-hr.
1996	943
1997	1,100
1998	1,012
1999	1,092
<b>Total</b>	<b>4,147</b>

Tabla 1.9 Ahorro para los usuarios en consumo de energía eléctrica.

Año	Millones de pesos
1996	4,100
1997	4,400
1998	6,830
1999	6,130

Tabla 1.10 Ahorro para el país en diferimientos de inversiones

Año	(MW)
1996	529
1997	550
1998	683
1999	613

Tabla 1.11 Disminución de la demanda por la aplicación de horario de verano

Contaminante	1996	1997	1998	1999	Total
Oxido de Nitrógeno	5.70	6.60	6.20	6.51	25.5.4701
Oxido de Azufre	8.40	33.10	31.02	32.95	125.47
Monóxido de carbono	0.40	0.50	0.50	0.40	1.80
Partículas	10.20	11.90	11.20	11.87	45.17
Dióxido de Carbono	1,587.00	1,851.00	1,735.00	1,843.53	7,016.53
Hidrocarburos	0.06	0.07	0.07	0.07	0.27
<b>Total</b>	<b>1,631.76</b>	<b>1,903.17</b>	<b>1,783.99</b>	<b>1,895.33</b>	<b>7,214.25</b>

Tabla 1.12 Reducción de contaminantes emitidos al medio ambiente por la aplicación del horario de verano.

Para apreciar mejor el efecto que tiene el horario de verano podemos comparar la figura 1.5 en la que observamos las curvas horarias unos días antes de aplicarse el horario de verano y unos días después para apreciar las variaciones.

Podemos ver que no se logro un ahorro significativo con el horario de verano, pero si podemos notar una disminución en la generación en las horas pico, y es aquí donde podemos encontrar un ahorro ya que las unidades utilizadas para las horas pico son las de mayor costo de operación.

Desgraciadamente no podemos observar un ahorro muy grande en cuestión económica. Una ventaja es que al reducirse las demandas pico es posible programar mantenimientos de las unidades, disminuimos la contaminación atmosférica, ahorramos recursos energéticos y mantenemos lo mas estable posible el costo de la energía eléctrica.

## 1.6 Carga Eléctrica, Curvas Ideales y Curvas Reales.

La carga ideal desde el punto de vista del equipo necesario para satisfacerla debería ser una línea recta que nos representara una condición de operación sin variación alguna. Desde este punto de vista se estima que sería la mitad o tres cuartas partes del que se necesita para producir la generación actual. En figura 1.6 ilustramos las curvas horarias de carga ideal y real.

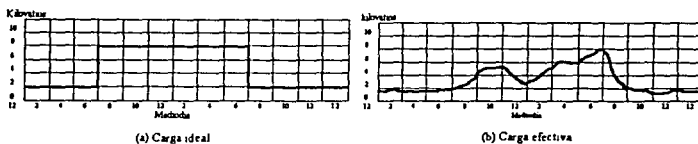


Figura 1.6 Carga ideal (a) y carga real (b) de las curvas horarias.

Aquí podemos apreciar el problema de tener una carga variable, ya que para satisfacer la demanda de la carga necesitamos poner en funcionamiento mas plantas con su respectivo gasto, ya que es necesario meterlas al sistema en el menor tiempo posible, lo que provoca un mayor gasto de recursos no renovables y por consiguiente la contaminación ambiental se incrementa.

La actividad de la población esta regida por ciclos, si se observa el patrón que sigue la demanda de los consumidores podremos observar que es completamente irregular pero de comportamiento periódico como se ilustra en la figura. 1.6 (b).

Esta característica es periódica por días y semanas, siendo mayor la demanda por las tardes y las noches que en las madrugadas, y menor demanda entre semana que sábados y domingos. Es por esa variación de carga que diversas unidades están permanentemente entrando y saliendo de operación.

El problema de decidir cuales unidades entran en operación y la cantidad de potencia entregada para satisfacer una carga determinada a una hora del día, cumpliendo con un estado económico de operación y satisfaciendo los índices de confiabilidad, se le conoce como asignación de unidades. Una apropiada asignación de unidades puede dar como resultado ahorros por consumo de combustibles y una reducción de costos de operación del sistema de potencia.

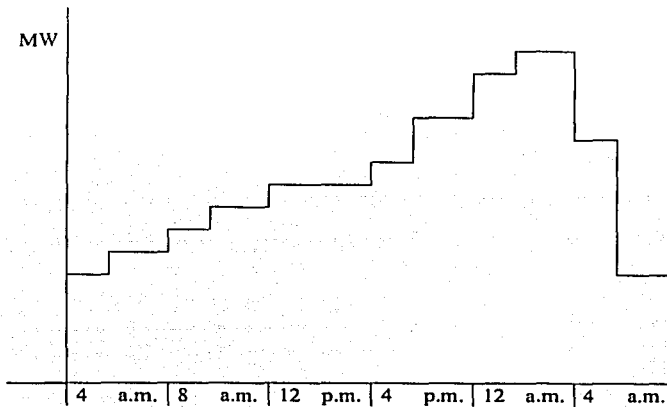


Figura 1.7 Patrón de demanda.

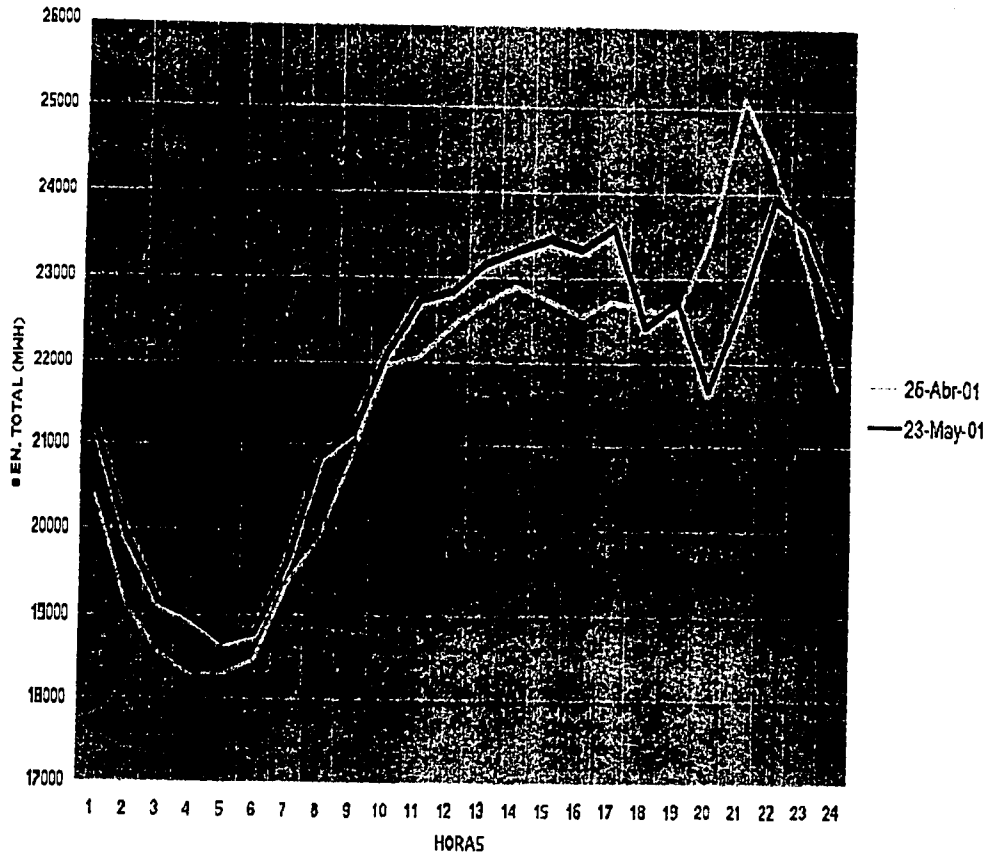


Figura 1.5 Curvas horarias días antes y días después de la aplicación del horario de verano.

Debido a la gran variedad de alternativas, combinaciones y a las restricciones de costos asociados con el arranque y paro de las unidades y el mantenimiento de los generadores de vapor, se requiere de técnicas apropiadas para la selección de unidades disponibles. Las unidades de generación deben combinarse para satisfacer las demandas de los consumidores, el intercambio de potencia entre áreas debe contar con una suficiente reserva operativa y margen de regulación tal que permitan, en caso de emergencia, responder ante cualquier contingencia.

Una manera de cubrir la demanda es asignar el mínimo número de unidades, todas a su máxima capacidad, incurriendo en riesgos de no cumplir con los márgenes de seguridad establecidos. La otra manera es mantener todas las unidades a su mínima capacidad, pero con ello no se cumpliría con la minimización de costos. Por eso es preciso e indispensable tener un pronóstico de la demanda durante el periodo de tiempo en el cual se pretende hacer la asignación de unidades.

### **1.7 Control de generación (conceptos básicos).**

El control de la generación de los sistemas de potencia esta directamente relacionado con la calidad del servicio. Los disturbios y la demanda son de naturaleza aleatorios por lo que imponen una carga enorme a los elementos de control.

No es posible almacenar energía eléctrica en grandes cantidades para acudir a ella cada vez que se requiera, por lo que se debe plantear en forma estratégica como cubrir la demanda en horas picos, pero eso no es todo, ya que los tipos de generadores que se tienen son diversos, lo que complica mas la elección adecuada del tipo de unidad que deberá entrar en operación.

Las industrias y los usos domésticos producen demandas muy variables de energía, por lo que se debe buscar la forma de minimizar la variación de la carga del sistema eléctrico de tal forma que las variaciones sean mínimas y no impliquen la entrada urgente de sistemas a operación.

### **1.8 Clasificación de las Centrales Generadoras.**

Una central eléctrica es cada una de las diversas instalaciones donde se produce, por diferentes medios, energía eléctrica para después llevarla hasta los lugares de consumo como hogares, industrias y comercios. Para realizar esto se necesitan subestaciones, que son instalaciones dependientes de otra principal y que proporcionan servicio a una zona determinada.

Por su utilización y la forma de producir energía eléctrica, las centrales generadoras se pueden clasificar:

- a) Según la función que desempeñan dentro del sistema eléctrico al que pertenecen.
- b) Según la clase de corriente eléctrica que generan.
- c) Según la clase de energía primaria que transforman.

Existe una subdivisión de estas centrales que es la siguiente:

- a) Según la función de la central. Se dividen en centrales de uso general, de base o primaria, secundaria y auxiliar.

*Central general.* Es de capacidad y características de generación tales que le permiten cubrir todas las demandas de carga que recibe, máximas, mínimas, diarias y estacionarias. Generalmente son plantas hidráulicas.

*Central primaria.* También llamada base, es la que puede suministrar una carga constante y continua, o básica, durante el año. Las variaciones de carga situadas por encima del nivel de generación de esta son cubiertas por otros suministros eléctricos.

*Central secundaria.* Es de generación esencialmente variable y esta destinada a cubrir los picos de carga de la curva de consumo.

Estos dos tipos de centrales deben trabajar en conjunto para prestar un servicio satisfactorio.

*Central auxiliar.* Esta destinada a prestar ciertos servicios limitados tales como energía para el equipo de construcción de una planta principal, el alumbrado de esta durante su explotación, el suministro de corriente continua o directa para excitación de los alternadores, carga de baterías, etc.

- b) Según la clase de corriente obtenida. Una central puede ser de corriente continua o de corriente alterna.

Las centrales de c.d. son de uso limitado en México, ya que no se cuenta aun con líneas de transmisión de c.d. por el alto costo que representan.

Las centrales de conversión tienen como función recibir energía en forma de c.a. y transformarla a c.d. por medio de convertidores o algún otro medio de rectificación.

- c) Según la energía primaria que utilizan Este tipo de energía puede ser hidroeléctrica, térmica convencional, de carbón, nuclear, ciclo combinado o geotérmica.

## 1.9 Clasificación de las unidades.

La clasificación básica que se maneja es la siguiente:

*Unidades Base.* Estas unidades son las de gran capacidad y las variaciones de entrega son mínimas, siempre están sincronizadas al sistema, mantienen los índices de confiabilidad y únicamente salen por mantenimiento o por falla.

*Unidades de entrada.* Son unidades de mediana capacidad que están listas para entrar al sistema por periodos de tiempo no muy prolongados, algunas de estas unidades tienen

carga fija. Pertenecen a esta categoría los generadores de plantas que tienen tiempo de estar operando y por lo general tardan en generar a plena carga.

**Unidades Pico.** Son unidades cuyo costo de producción es elevado y entran en las horas de demanda máxima o pico de demanda. Dentro de este tipo están las unidades turbotogas de rápida entrada al sistema. Por su alto costo y condiciones de operación son las últimas en ser asignadas.

**Reserva rodante.**

Para cualquier contingencia se debe de contar con una reserva rodante, la cual se entiende como la capacidad energética disponible en caso de pérdida de una unidad, desconexión de algún elemento o fluctuaciones no previstas en la carga; es una energía de reserva que se especifica por unidad, planta de generación o área de control. También es conocida como margen de regulación. Se establece como un porcentaje de la demanda total, mientras mas grande sea este valor mayor será la capacidad del sistema ante alguna contingencia.

En la figura 1.8 observamos gráficamente un predespacho según las unidades disponibles.

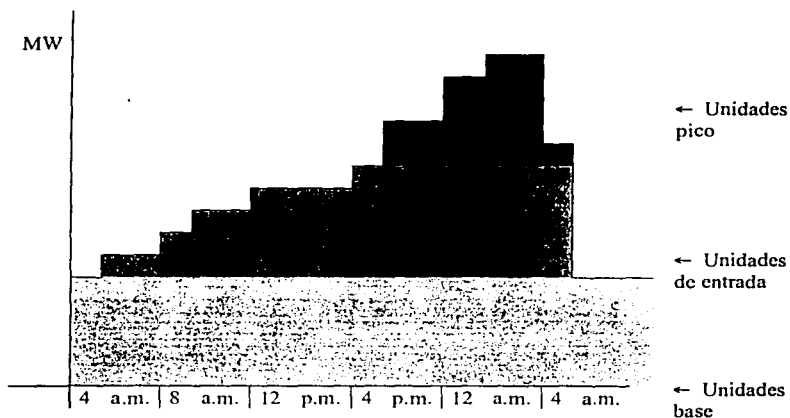


Figura 1.8 Asignación de unidades

Tenemos dos tipos de reserva rodante, clasificadas de la siguiente forma:

**Reserva caliente.**

Capacidad de energía proporcionada por las unidades que se encuentran sincronizadas con el sistema y que se puede disponer rápidamente de ella.

*Reserva fría.*

Se considera a las unidades que no están sincronizadas y pueden entrar al sistema en caso de alguna contingencia. Varias de estas unidades entran desde cero como la turbinas o las térmicas convencionales, que se mantienen con las condiciones de temperatura y presión en la caldera necesarias para evitar demoras en la entrada al sistema.

En las siguientes tablas se muestra la evolución de la capacidad efectiva de generación, así como la generación bruta de energía eléctrica, por tipo de tecnología, en las empresas parastatales para el período 1995 - 2000.

Capacidad instalada de generación por tipo de planta (MW)	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Termoeléctrica	19,395	20,102	20,120	20,895	21,327	22,256
Hidroeléctrica	9,329	10,034	10,034	9,700	9,619	9,619
Carboeléctrica	2,250	2,600	2,600	2,600	2,600	2,600
Núcleo eléctrica	1,309	1,309	1,309	1,309	1,368	1,365
Geotérmica	753	744	750	750	750	855
Eolo eléctrica	2	2	2	2	2	2
Total	33,037	34,791	34,815	35,255	35,666	36,697

Fuente: 1er Informe de Gobierno, 2001

Tabla 1.13 Capacidad instalada de generación por tipo de planta.

Generación bruta por tipo de planta (GWh)	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Termoeléctrica	86220	89100	101454	113483	114322	126863
Hidroeléctrica	27528	31442	26430	24616	32714	33075
Carboeléctrica	14479	17735	17575	17956	18251	18696
Núcleo eléctrica	8443	7878	10456	9265	10002	8221
Geotérmica	5669	5729	5466	5657	5623	5901
Eolo eléctrica	6	5	4	5	6	8
Total	142344	151889	161385	170982	180917	192764

Fuente: 1er Informe de Gobierno, 2001.

Tabla 1.14 Capacidad de generación bruta por tipo de planta.



### 1.10 Pérdidas de energía en los sistemas eléctricos

El hecho de transmitir energía eléctrica desde el lugar de generación hasta el lugar del consumo nos genera pérdidas en líneas de transmisión y distribución, en transformadores, en generadores, incluso en las mismas instalaciones de los motores y en la forma en que son operados. Para reponer estas pérdidas es necesario generar una mayor cantidad de energía eléctrica para que los consumidores reciban la energía que demandan. Esto representa un mayor gasto de recursos energéticos, un desgaste mayor en los equipos de generación, acortamiento de su vida útil, mayores gastos de mantenimiento, etc.

El sistema de distribución y transmisión es uno de los factores más importantes de un sistema eléctrico. En el caso de las industrias al diseñar su sistema eléctrico se dan cuenta que las líneas que requieren para su sistema de distribución pueden llegar a significar un alto costo en la instalación total, sorprendiéndose incluso los ingenieros de diseño. Es por eso que si tenemos una mala planeación del diseño puede ocasionar una gran pérdida de capital y tiempo. Por esto, al planear el sistema de distribución se consideran las posibilidades de expansión de la industria para diseñar un sistema que soportará la cantidad de energía que fluirá a través de él y que no sea demasiado sobrado, ya que el calibre del material empleado para las líneas influye de una manera importante en el costo total del sistema. La figura 1.9 nos muestra un estimado de las inversiones que realiza una empresa en un sistema de energía eléctrica.

Los sistemas de distribución industriales representan un elevado consumo, además estos sistemas deben ser alimentados a tensiones más elevadas que las usuales. En algunas ocasiones el consumo de energía de estas industrias equivale al de una pequeña ciudad.

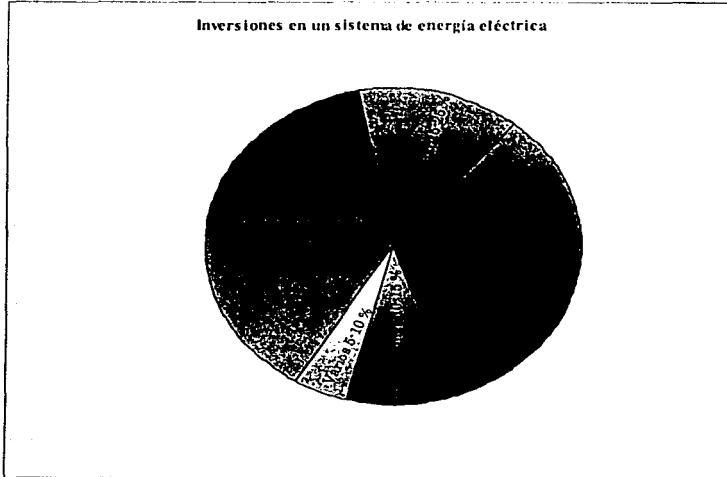


Figura 1.9 Porcentajes de inversiones en un sistema de energía eléctrica

Las instalaciones eléctricas tienen seis elementos principales: la central eléctrica, los transformadores elevadores de tensión, las líneas de transmisión, las subestaciones, las líneas de distribución y los transformadores reductores de tensión.

Los sistemas de distribución industrial y comercial por lo general son diseñadas y operadas las mismas empresas a las que pertenecen, el resto de las líneas de distribución están a cargo del sistema eléctrico y resulta sorprendente que en algunos casos representa la mayor inversión.

Para desarrollar un sistema de distribución es necesario instalar varios equipos suplementarios. En la figura 1.10 se observan las inversiones que se realizan en los sistemas de distribución.

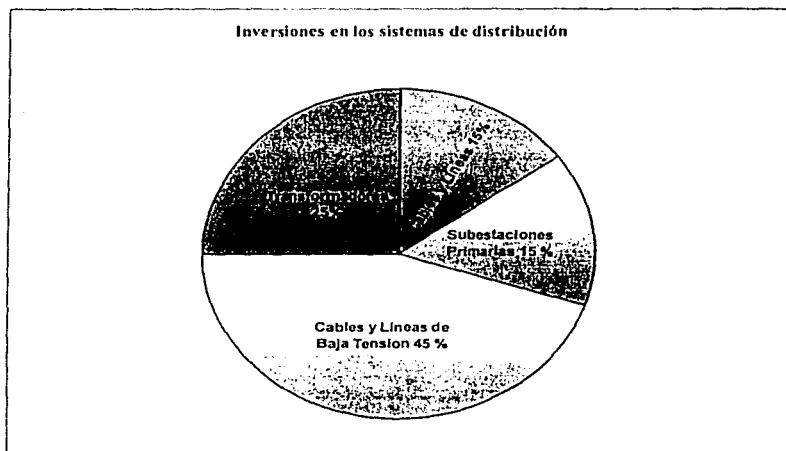


Figura 1.10 Porcentajes de inversión en un sistema de distribución.

Las líneas de transmisión presentan inductancia, capacitancia y resistencia al paso de la corriente eléctrica. El efecto de estas en la línea es la variación de la tensión si varía la corriente, por lo que la tensión suministrada varía con la carga aplicada. Ya que la inductancia y la capacitancia tienden a anularse entre sí, cuando la carga de circuito tiene mayor reactancia inductiva que capacitiva la potencia suministrada para una tensión y una corriente determinada es menor que si las dos son iguales. La relación entre esas dos cantidades de potencia se llama factor de potencia. Como las pérdidas en las líneas de transmisión son proporcionales a la intensidad de corriente, se aumenta la capacitancia para que el factor de potencia tenga un valor lo más cercano a 1. Por esta razón se suelen instalar grandes condensadores en los sistemas de transmisión de electricidad.

El desarrollo actual de los rectificadores de estado sólido para alta tensión hace posible una conversión económica de alta tensión de corriente alterna a alta tensión de corriente continua para la distribución de la electricidad, esto evita las pérdidas inductivas y capacitivas que se producen en la transmisión de corriente alterna. Desgraciadamente en México aún no se cuenta con este tipo de transmisión por la inversión que esta representa.

### 1.11 Normas

Es importante fomentar una conciencia ambiental en todos los sectores y establecer severas normas ambientales con el fin de evitar las emisiones contaminantes de sus medios de producción, de tal forma que la emisión de contaminantes sea mínima.

Para poder obtener un ahorro es necesario reglamentar el uso de la energía a fin de poder forzar la aplicación de las condiciones mínimas de operación del cualquier dispositivo eléctrico, es por eso que se han establecido normas mexicanas buscando eficientar el uso de la energía.

La Secretaría de Energía a través de la CONAE, expide las Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética (NOM), elaboradas por el Comité Consultivo Nacional para la Preservación y Uso Racional de los Recursos energéticos (CCNNPURRE) en colaboración y con el consenso de los sectores privado, público, social y de investigación y desarrollo tecnológico. Estas normas son de atención obligatoria y regulan el consumo de energía de aparatos y sistemas que ofrezcan un alto potencial de ahorro, cuyo costo sea favorable al país.

La CONAE de la Secretaría de Energía es el organismo responsable de la normalización de la eficiencia energética, de acuerdo con la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.

Actualmente existen publicadas 20 NOM, de las cuales 16 están relacionadas con la eficiencia de consumo de energía eléctrica. Al 2001 los ahorros acumulados estimados por su aplicación son del orden de 8,000 GWh en el consumo de energía y 1,300 MW en potencia evitada.

En las tablas 1.15 y 1.16 se muestran las normas vigentes y algunas en elaboración, así como el ahorro que estima se ha alcanzado con su aplicación al año 2001.

Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética, 2001

Norma / Equipo o sistema	Entrada en vigor	Unidades vendidas (a)	Ahorros			MW
			Unidades nuevas	Total GWh	% (b)	
NOM-001-ENER-2000 Bombas verticales	XII/2000	2,736	6.4	102.5	13	36.3
NOM-004-ENER-1995 Bombas centrífugas	VII/1996	347,907	0.7	29.3	18	40
NOM-005-ENER-2000 Lavadoras de ropa	X/2000	1'400,378	43.6	78.1	29	NA
NOM-006-ENER-1995 Sistemas de bombeo	XI/1996	NA	NA	2,312.0	30	51.3
NOM-007-ENER-1996 Alumbrado en edificios	IX/1996	NA	121.9	567.0	20	30.4
NOM-008-ENER-2001 Edificios no residenciales	VI/2001	NA	45.0	45.0	20	11
NOM-010-ENER-1996 Bombas sumergibles	I/1998	1,231	12.1	47.0	3	12
NOM-011-ENER-1996 Acondicionadores de aire tipo central	II/1998	7,411	23.8	84.7	3	10
NOM-013-ENER-1995 Alumbrado en viviendas	V/1998	NA	0.4	11.2	2	2.5
NOM-014-ENER-1997 Motores monofásicos	VII/1998	1721,050	34.0	140.0	30	132
NOM-015-ENER-1997 Refrigeradores y congeladores	VIII/1997	1'307,113	451.2	2,292.1	41	465
NOM-016-ENER-1997 Motores trifásicos	VI/1998	172,303	183.0	1,208.3	7	386
NOM-017-ENER-1997 Lámparas fluorescentes	VI/1998	352,057	7.4	21.1	60	3.1
NOM-018-ENER-1997 Asientos térmicos para edificaciones	X/1998	NA	2.5	65.2	20	5.6
NOM-021-ENER/SCF/LT/COL 2000 Acondicionadores de aire tipo cuarto	VI/2001	420,261	190.0	858.3	32	96
NOM-022-ENER/SCF/LT/COL 2000 Aparatos de refrigeración comercial	VI/2001	362,650	157.9	157.9	5	19

Tabla 1.15 Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética, 2001.

En proceso de elaboración

Proyecto de Norma	Equipo / sistema	Característica
NOM-023-ENER	Generadores eléctricos trifásicos, síncronos, de hasta 373 kW	Tema nuevo, incluido en el 2001
NOM-024-ENER	Generadores eléctricos trifásicos, de inducción, de hasta 1,250 kW	Tema nuevo, incluido en el 2001
NOM-020-ENER	Edificios de uso habitacional hasta tres niveles	Tema nuevo, reprogramado para el 2001
NOM-015-ENER	Refrigeradores y congeladores electrodomésticos	Actualización, reprogramado para el 2001
NOM-011-ENER	Acondicionadores de aire tipo central	Actualización, reprogramado para el 2001

Notas: a) Eliminaciones hechas con base en tasas de crecimiento en las ventas, proporcionadas por los fabricantes y comercializadores de los productos y sistemas cubiertos por las normas.  
 b) Porcentaje de mejora de la eficiencia o reducción en el consumo de energía.  
 Fuente: Conae, Dirección de Normalización

Tabla 1.16 Normas en elaboración al 2001

Los ahorros estimados y la demanda evitada por la aplicación de dichas normas en un plazo de 10 años a partir del 2001 se presentan en figura 1.11, donde podemos apreciar que el ahorro que se podría obtener es significativo.

### Ahorros estimados por la aplicación de NOM

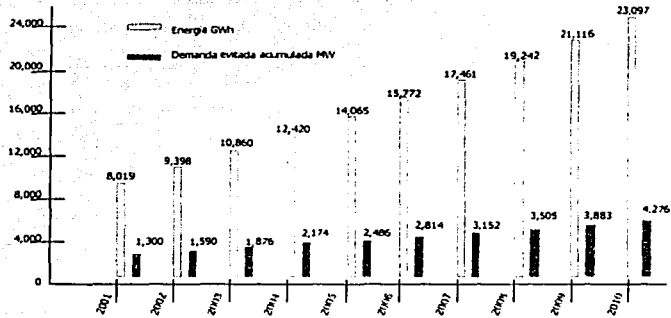


Figura 1.11 Ahorros estimados por la aplicación de las normas NOM.

El ahorro estimado para el año 2010 es casi dos unidades de turbogas como las que se encuentran en la central Leona en Monterrey. Esto implica que el sólo hecho de aplicar estas normas nos economizara prácticamente en ocho años el desarrollo de dos unidades de este tipo, reduciendo de esta manera un poco la contaminación ambiental que se podría generar y encausando esos posibles recursos a otras obras o para la eficientización del sistema.

## **CAPÍTULO 2**

### **MOTORES ELÉCTRICOS Y SUS PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO**

Los motores eléctricos son de las máquinas más utilizadas en el mundo. Las podemos encontrar en industrias, en el hogar, en medios de transporte, en computadoras, etc., ya que es una forma eficiente, limpia y económica para generar energía mecánica. Por sus características son fáciles de mantener, no necesitan cuidados especiales, su operación es muy flexible y es posible tener un control preciso sobre ellos, además contamos con una amplia gama de selección basándonos en sus características particulares partiendo de nuestras necesidades específicas.

Los motores eléctricos son los primeros equipos susceptibles a mejorar para lograr un ahorro de energía, por eso es importante conocer las bases de su funcionamiento para que a partir de estas se busquen formas de alcanzar ahorros satisfactorios.

Se estima que se invierten unos 10 billones de dólares al año en la adquisición de motores y su mantenimiento, y que las industrias transforman en energía mecánica del 70% al 80% de la energía eléctrica total demandada por el conjunto de industrias a través de motores eléctricos. Solo la energía demandada por la industria para accionar sus equipos representa un alto porcentaje de la energía eléctrica total generada, por lo que es preciso buscar formas de optimizar el uso de los motores eléctricos.

Si tomamos como base el porcentaje de energía eléctrica que consumen las industrias en la operación de sus motores, y logramos reducir las pérdidas, podremos contribuir gradualmente al ahorro nacional, a la protección de los recursos no renovables y la biodiversidad, disminuimos la contaminación, fomentamos el desarrollo sustentable y creamos una base sólida en capacidad instalada de generación al no necesitar generar energía que sabemos será desperdiciada.

Para poder obtener un ahorro en motores, lo primero es seleccionar el motor adecuado que satisfaga nuestras necesidades, siempre basándonos en sus características, además debemos realizar una adecuada instalación del mismo y su control óptimo. Una vez instalado y funcionando debemos buscar que alcance la eficiencia máxima posible, brindarle un mantenimiento periódico para así tenerlo en las mejores condiciones y alargar su vida útil.

#### **2.1 Tipos de motores eléctricos**

Los motores se clasifican generalmente de acuerdo al tipo de energía eléctrica con que son alimentados en motores de corriente continua y motores de corriente alterna, y a partir de esta clasificación hacen otras subclasificaciones de acuerdo a sus formas de conexión, a su construcción física, su operación, sus características, etc.

En las figuras 2.1 y 2.2 se muestra una clasificación más o menos general de los motores, omitiéndose algunos poco peculiares, ya sea por que su aplicación está reducida a casos específicos o por que sus fines son académicos o didácticos.

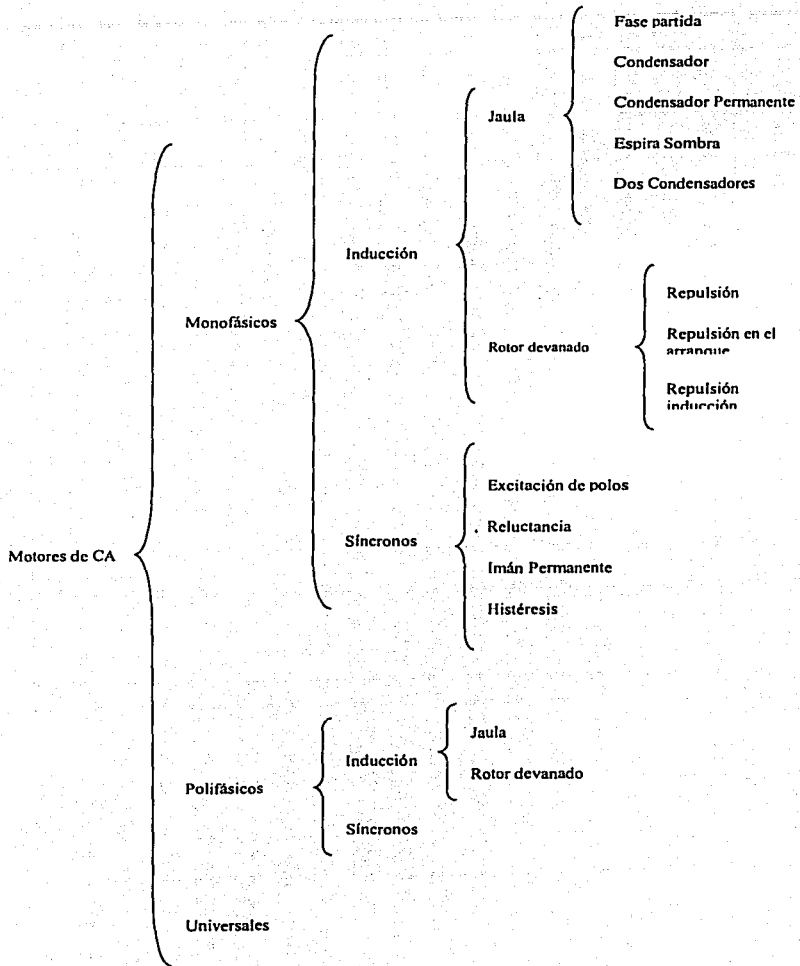


Figura 2.1 Clasificación de los motores de corriente alterna

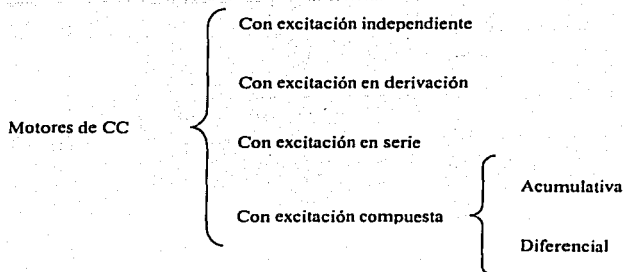


Figura 2.2 Clasificación de los motores de corriente continua

Como podemos ver tenemos una amplia gama de motores para realizar una adecuada selección del mismo y tenemos también opciones para decidir se adecua mejor a nuestras necesidades tecnológicas y a nuestro presupuesto, siempre realizando un análisis técnico-económico para determinar que motor satisface mejor nuestras necesidades. Es verdad que también es posible realizar adaptaciones de motores con un buen control para que operen de alguna forma específica, además los costos, sobre todo en los motores de inducción se abaten más día a día, por lo que son las opciones más viables para hacer crecer una industria, haciendo más eficientes los tiempos de producción y la calidad de los productos.

## 2.2 Principio de funcionamiento.

Los motores eléctricos son dispositivos que nos permiten convertir energía eléctrica en mecánica por medios electromagnéticos y además pueden funcionar como generadores convirtiendo energía mecánica en energía eléctrica.

El funcionamiento de los motores y generadores eléctricos se basa en la ley de inducción electromagnética de Faraday y en el principio de Lenz.

### 2.2.1 Ley de Faraday

La ley de Faraday dice que a partir de campos magnéticos que varían respecto al tiempo se pueden producir campos eléctricos y en consecuencia corrientes eléctricas.

Si tenemos un imán de barra y una espira de alambre conductor y conectamos en sus terminales un voltmetro, al existir un movimiento relativo entre imán y espira, el voltmetro detectará una diferencia de potencial que recibe el nombre de fuerza electromotriz (Figura 2.3)



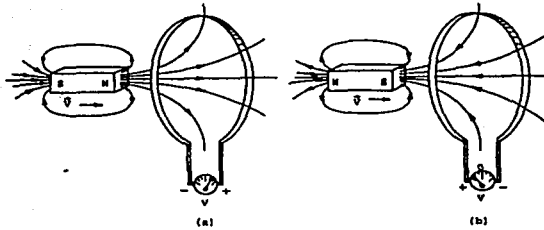


Figura 2.3 Fuerza electromotriz inducida en una espira

Expresando matemáticamente la relación entre la rapidez de cambio del flujo ( $\lambda$ ) y la fuerza electromotriz inducida, se obtiene la ley de inducción de Faraday:

$$E_i = - \frac{d\lambda}{dt}$$

El signo “ - ” significa que la polaridad de la fuerza electromotriz inducida es opuesta a la de la variación del flujo concatenado. Cuando la fuerza electromotriz se induce en un embobinado de  $N$  espiras se suele aproximar el flujo concatenado como el producto de  $N$  por el flujo que cruza a través de una de las espiras por lo tanto tenemos que

$$E_i = - N \frac{d\phi}{dt}$$

### 2.2.2 Ley de Lenz

El principio de Lenz indica que el sentido de una corriente inducida debe ser tal que se oponga a la causa que lo produce.

Por ejemplo en el circuito de la figura 2.4, durante el intervalo  $0 \leq t \leq t_1$  la corriente  $i$  del circuito esta aumentando con rapidez constante por lo que el flujo magnético se incrementa también. Si imaginamos que con el conductor  $C$  unimos las terminales  $a$  y  $b$ , por éste circularía una corriente inducida  $i_i$ , la cual se determina con el principio de Lenz. Dicha corriente circularía por el embobinado y saldría del mismo por la terminal  $a$ , la que resultaría de mayor potencial (+). y entraría al embobinado por la terminal  $b$ , que resultaría ser la terminal de menor potencial (-).

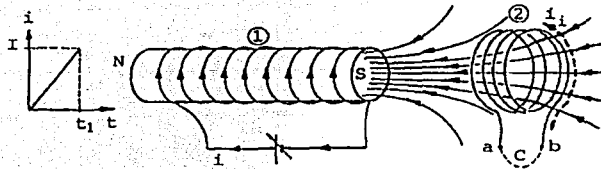


Figura 2.4 Principio de Lenz.

### 2.3 Generador de corriente alterna

A continuación se analizará el principio de operación de la máquina como generador y más adelante se analizará como motor. Esto servirá de base para comprender el funcionamiento de los otros tipos de motores.

En la figura 2.5 se muestra un núcleo de hierro A montado sobre una flecha, soportada por chumaceras y que puede girar libremente entre las piezas polares N y S que forman el campo. Como se puede observar las líneas de flujo tienden a concentrarse radialmente debido a la baja reluctancia del material del núcleo.

Un conductor C montado sobre el núcleo y que gira con él en la dirección mostrada, corta las líneas de flujo por lo que se inducirá en él una Fuerza electromotriz.

Aplicando la regla de Fleming de la mano derecha, cuando el conductor se mueve hacia abajo frente al polo N, como en el punto (a), la f.e.m. inducida sale del papel (Punto). Cuando el conductor se mueve hacia arriba frente al polo S, como en (b), la dirección de la f.e.m. inducida entra al papel (Punto negro). Si la dirección de rotación se invirtiera, la fem se invertiría también.

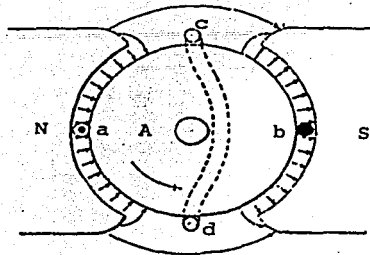


Figura 2.5

Si al conductor c lo unimos a otro conductor d, las fems generadas en los dos conductores se sumarían.

Cuando la espira comienza a moverse en la posición vertical, como se muestra en la figura 2.5, no existe fem inducida debido a que no hay corte de flujo por los conductores c y d. Al moverse el conductor c hacia la izquierda y el d hacia la derecha se induce una pequeña fem en éstos. Esta fem va aumentando al entrar al campo magnético alcanzando su valor máximo en la posición horizontal (a) y disminuyendo hasta no haber fem inducida nuevamente en la posición (d). Si continuara la rotación, se induciría una fem similar en los conductores durante la siguiente media revolución, esta vez actuando en la espira en dirección opuesta.

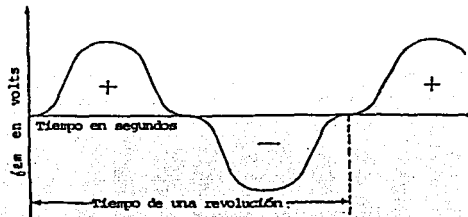


Figura 2.6 Variación de la fem inducida durante una revolución

Siempre que el conductor c se encuentra bajo un polo N, saldrá corriente y entrará por d. Sin embargo, siempre que el conductor c se mueva bajo un polo S, la corriente se invertirá entrando ahora por c y saliendo por d. Esto es, la polaridad de las escobillas se invertirá cada media revolución de la bobina, dando lugar a una corriente alterna (figura 2.6).

La acción motor se logra ahora haciendo circular una corriente en la bobina de acuerdo con la figura 2.7 el conductor a lleva una corriente que sale del papel, esta corriente desarrollará un campo magnético alrededor del conductor, en dirección contraria al movimiento de las manecillas del reloj. Este campo tenderá a reforzar al campo principal en la región que se encuentra abajo del conductor y a debilitarlo en la región superior al conductor, dando por resultado que el conductor sea impulsado hacia arriba, como lo muestra la flecha. Pero si la dirección de la corriente entra al papel (Conductor b) se creará un campo magnético en dirección de las manecillas del reloj provocando que el campo magnético principal sea reforzado en la parte superior del conductor y debilitado en la parte inferior del conductor y por lo tanto el conductor b será impulsado hacia abajo.

Se puede ver que los costados de la bobina llevan corriente en direcciones opuestas, pero estas se encuentran simultáneamente bajo polos opuestos, de manera que la acción de ambos conductores es la de producir movimiento en el núcleo de armadura en la misma dirección con respecto a su momento de giro.

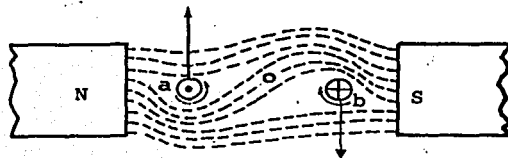


Figura 2.7

En el caso del motor, cuando gira, se generará una fem cuya dirección será opuesta a la corriente que fluye en los conductores debida a la fem de la fuente externa. Esta última fem vence a la fem generada por el motor llamada fuerza contraelectromotriz (fcem).

## 2.4 Motor de Corriente Alterna

Los motores de corriente alterna más comunes son los motores síncronos y los motores de inducción. La característica del motor síncrono de mantener una velocidad constante es sumamente importante para algunos equipos. Sin embargo estos motores no soportan cargas muy grandes, ya que si reduce su velocidad puede quedar fuera de fase con la frecuencia de la corriente y pararse.

Los motores síncronos son motores de velocidad rigurosamente constante con la frecuencia de la red. Los polos del motor siguen el campo giratorio impuesto al estator por la red de alimentación. Así, la velocidad del motor es la del campo giratorio (velocidad síncrona):

$$n_s = \frac{f}{p} \times 120$$

Donde:

- $n_s$  es la velocidad  
sincrona  
 $f$  la frecuencia (Hz)  
 $p$  el numero de polos

El mayor par que el motor puede proporcionar esta limitado por la máxima potencia que puede ser cedida antes de la pérdida de sincronismo del rotor. Por otra parte éste valor máximo de potencia electromagnética es en función del grado particular de corriente de excitación que está siendo introducido en los devanados del campo.

La excitación determina también los porcentajes de potencia activa y reactiva que el motor absorbe de la red, para cada potencia mecánica solicitada al eje del motor

Los motores asíncronos o de inducción, por ser robustos y baratos, son los mas extensamente empleados en la industria. En estos motores, el campo gira a velocidad sincrona, como en las máquinas sincronas.

Un motor de inducción tiene físicamente el mismo estator que una máquina sincrona, con diferente construcción de rotor. En general hay dos tipos diferentes de rotores de motor de inducción, que se pueden colocar dentro del estator. A uno se le llama rotor de jaula de ardilla o simplemente rotor de jaula, mientras que el otro se llama rotor devanado.

El motor de inducción de jaula de ardilla es de los motores más simples. El elemento rotatorio consiste en un núcleo, en el cual se incluye una serie de conductores de gran capacidad colocados alrededor del árbol y paralelos a el. Algunas ocasiones no tiene núcleo, los conductores del rotor tienen forma de jaula de ardilla. El flujo de la corriente eléctrica en la armadura genera un campo magnético rotatorio e induce una corriente en los conductores de la jaula. La reacción magnética entre el campo rotatorio y los conductores del rotor que transportan la corriente eléctrica hace que este gire.

Si el rotor da vueltas a la misma velocidad que el campo magnético, no habrá corrientes inducidas en él, y por tanto, el rotor no debería girar a una velocidad sincrona. Ya en funcionamiento la velocidad de rotación del rotor y la del campo difieren entre sí de un 2 a un 5%.

Un rotor del tipo jaula, consiste en una serie de barras conductoras, colocadas en ranuras talladas en la cara del rotor y con sus extremos puestos en corto circuito, por medio de anillos de corto circuito. Este diseño hace referencia a un rotor de jaula de ardilla, por lo que los conductores si se examinan de por sí, parecen las ruedas de ejercicio en donde suelen jugar las ardillas o los ratones de laboratorio.

Los motores de jaula de ardilla monofásicos no tienen un par de arranque grande, por lo que en algunas ocasiones se deberá usar otro tipo de motor como el de repulsión-inducción para las aplicaciones que requieren un par elevado.

Los motores de repulsión-inducción se denominan así debido a que su par de arranque se debe a la repulsión entre el rotor y el estator, y el par en funcionamiento depende de la inducción.

El otro tipo de rotor es el denominado rotor devanado. El rotor devanado, tiene un juego completo de embobinados trifásicos que son la imagen reflejada de los embobinados del estator. Las tres fases de los embobinados del rotor, están conectadas generalmente en Y, los extremos de las tres bobinas del rotor están conectados a los anillos de rozamiento sobre el eje del rotor.

## 2.5 Aplicaciones de los motores eléctricos.

En las presentes tablas veremos algunas de las aplicaciones típicas de algunos tipos de motores. Algunas aplicaciones son muy parecidas entre una clase y otra y es aquí donde podemos tener un panorama más amplio para saber que motor elegir, o si el que se tiene operando actualmente cumple con nuestras necesidades lo mejor posible.

### Motores de Corriente Continua.

#### *Motor Derivado*

- Para máquinas herramientas y esmeriles
- Cintas transportadoras de velocidad constante.
- Bombas
- Ventiladores y sopladores
- Máquinas para trabajar madera y metales
- Compresores
- Conjunto motor generador
- Molinos mezcladores de hormigón
- Telares en fábricas textiles.
- Motores Serie
- En arranques con cargas pesadas.
- En grúas, malacates.
- En montacargas, elevadores.
- Ferrocarriles eléctricos, tranvías, metro y automóviles.

### *Motor Compuesto*

- Transmisiones para laminadores
- Cizallas mecánicas
- Sopladores
- Transmisión (Colectivos como el trolebús y el tranvía).

### *Motores de CA de inducción.*

#### *Jaula de Ardilla*

- Transmisiones para mover máquinas industriales
- Impulsión de máquinas en plantas para trabajar madera
- Impulsión de máquinas en plantas manufactureras en general
- Transmisiones en fabricas textiles
- Aserradores
- Fábricas de papel
- Fábricas de harina
- Maquinaria minera
- Propulsión eléctrica de barcos
- Elevadores para pasajeros y mercancías
- Para grupos motor-generador
- Pequeñas grúas
- Bombas y ventiladores

#### *Rotor Devanado*

- Bombas y compresores
- Ventiladores y compresores de velocidad variable
- Grúas y aparatos elevadores
- Secadores y hornos rotativos
- Molinos trituradores
- Ferrocarriles eléctricos

### *Motores de CA sincronos*

- Para impulsar generadores de cc
- Para accionar compresores de aire y amoniaco
- Para convertidores de frecuencia
- Para impulsar maquinas textiles
- Para accionar laminadores continuos, para acero y cobre
- Para accionar bombas de vacío
- Para impulsar bombas centrífugas de flujo radial, axial o mixto.
- Para mover molinos de eje vertical, baja velocidad
- Para accionar molinos de papel, de cemento, y de bolas en la industria minera
- Para impulsar bombas de embolo para agua, aceite, etc.

- Para mezcladoras, revolvedoras y agitadores
- Para bombas de tornillo
- Para molinos de minas
- Para ventiladores de grandes calderas
- Para corregir el factor de potencia.

### Motores monofásicos

#### *Motores Monofásicos de Inducción*

- Sierras
- Molinos
- Aspiradoras de vacío
- Acondicionadores de aire
- Unidades de refrigeración
- Lavadoras

#### *Motores Síncronos*

- Relojes eléctricos
- Tocabiscos
- Tocacintas

#### *Motores de Colector (Universal)*

- Taladros eléctricos portátiles
- Rasuradoras eléctricas
- Máquinas de coser
- Pequeñas secadoras de pelo
- Máquinas de oficina
- Licuadoras
- Aspiradoras
- Ventiladores.

## **2.6 Aspectos Constructivos**

Todos los motores tienen varios elementos constructivos en común como carcasas, tapas laterales, porta cojinetes, cojinetes, el eje, chavetas, guías de aire, ventiladores externos e internos, intercambiadores de calor (aire/aire, aire/agua y bobina), cajas de empalme, tapas de inspección, las bridas, los pies de fijación, etc.

En las siguientes ilustraciones observamos las partes de los motores de cc, síncronos y asíncronos para poder comparar sus aspectos constructivos.



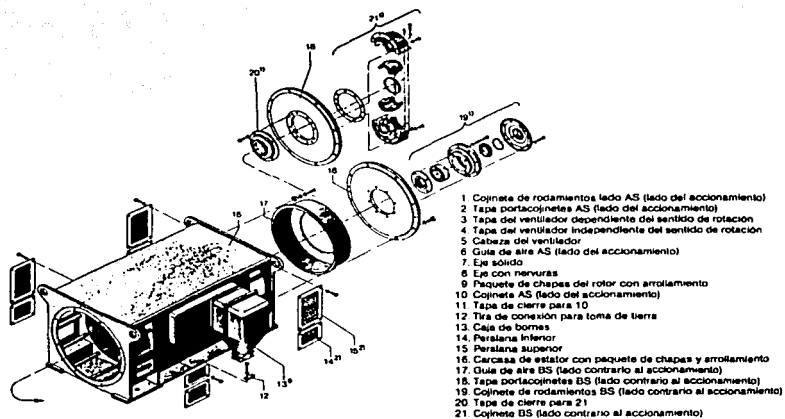
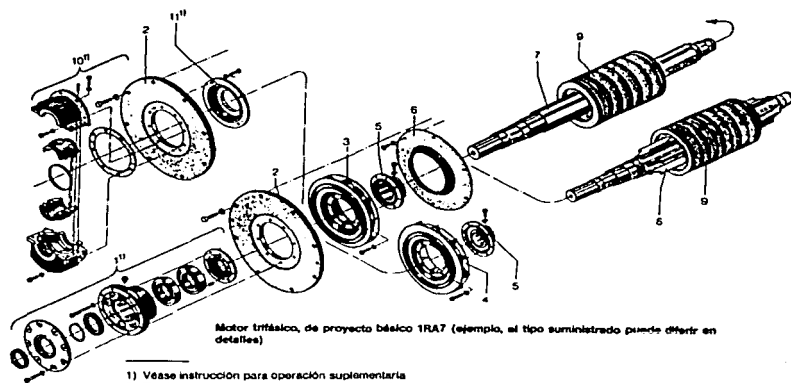


Figura 2.8(a) Despiece de un motor asíncrono de jaula de ardilla de mediana tensión



Despiece de un motor asíncrono de jaula de media tensión  
 Figura 2.8 (b) Despiece de un motor asíncrono de jaula de ardilla de mediana tensión

*Despiece de un motor de corriente continua*

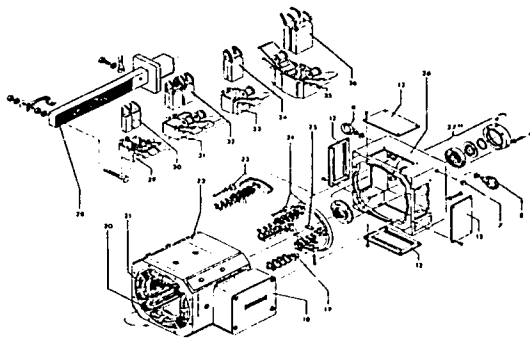


Figura 2.9 (a) Despiece de un motor de corriente continua

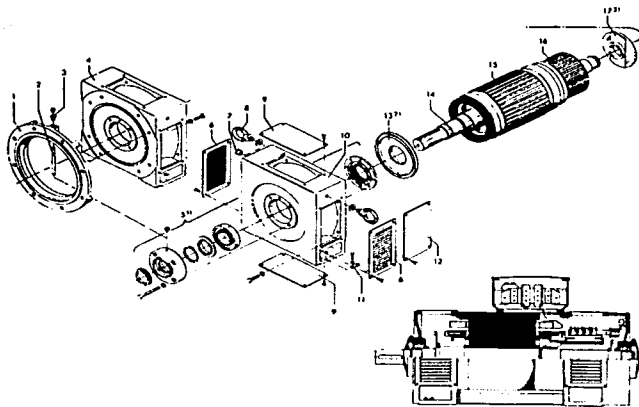


Figura 2.9 (b) Despiece de un motor de corriente continua

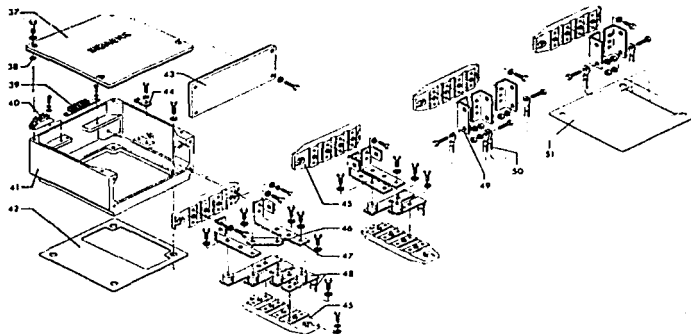


Figura 2.9 (c) Despiece de un motor de corriente continua

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Brida del portacojinetes</li> <li>2. Tubo para lubricación</li> <li>3. Portatrasador roscado</li> <li>4. Portacojinetes embridados (para 1)</li> <li>5. Conjunto de rodamientos AS (lado del accionamiento o punta del eje)</li> <li>6. Parafusa</li> <li>7. Tapón de cierre</li> <li>8. Ojal de suspensión con arandela</li> <li>9. Tapa (sin cierre)</li> <li>10. Portacojinetes AS (lado del accionamiento o de la punta del eje)</li> <li>11. Presilla de brisa</li> <li>12. Tapa con cierre</li> <li>13. Disco de equilibrado AS (lado del accionamiento)</li> <li>14. Eje</li> <li>15. Paquete de chapas del rotor con enrollamiento</li> <li>16. Colector</li> <li>17. Disco de equilibrado BS (lado contrario al accionamiento o de la punta del eje)</li> <li>18. Caja de empalmes</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>19. Barra con portaescoobillas y escobillas de carbono</li> <li>20. Interpolo</li> <li>21. Polo principal</li> <li>22. Carcasa del estator</li> <li>23. Soporte de escobillas con garras de fijación individual</li> <li>24. Soporte de escobillas con garras de fijación cónicas</li> <li>25. Tira de fijación para 19</li> <li>26. Portacojinetes BS (lado contrario al accionamiento)</li> <li>27. Conjunto de rodamientos BS (lado contrario al accionamiento)</li> <li>28. Barra para escobillas</li> <li>29. Portaescoobillas doble con muelles aislados</li> <li>30. Escobillas de carbono para 29</li> <li>31. Portaescoobillas doble con aislantes</li> <li>32. Escobillas de carbono para 31</li> <li>33. Portaescoobillas sencillo con aislante</li> <li>34. Escobilla de carbono para 33</li> <li>35. Portaescoobillas tandem con aislantes</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>36. Escobillas de carbono para 35</li> <li>37. Tapa de caja de empalmes</li> <li>38. Arandela de goma de cierre con protección contra pérdida</li> <li>39. Bornes adicionales para los circuitos auxiliares</li> <li>40. Bornes para circuito secundario (excitación)</li> <li>41. Carcasa de caja de empalmes</li> <li>42. Cierre con apertura rectangular</li> <li>43. Placa para entrada de cables</li> <li>44. Presilla de fijación para el conductor de protección</li> <li>45. Aislante</li> <li>46. Puente de empalme</li> <li>47. Contenedor de empalme para 48</li> <li>48. Conexión eléctrica al enrollamiento con barra</li> <li>49. Contenedor de empalme para 50</li> <li>50. Conexión eléctrica al enrollamiento con terminal</li> <li>51. Cierre con apertura en herradura</li> </ol> |
|--|---|---|

Despiece de un motor de corriente continua

Figura 2.9 (d) Despiece de un motor de corriente continua

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# Despiece de una máquina sincronía

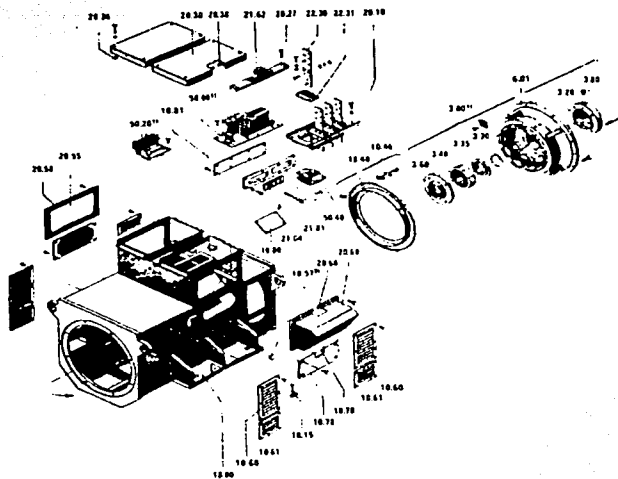
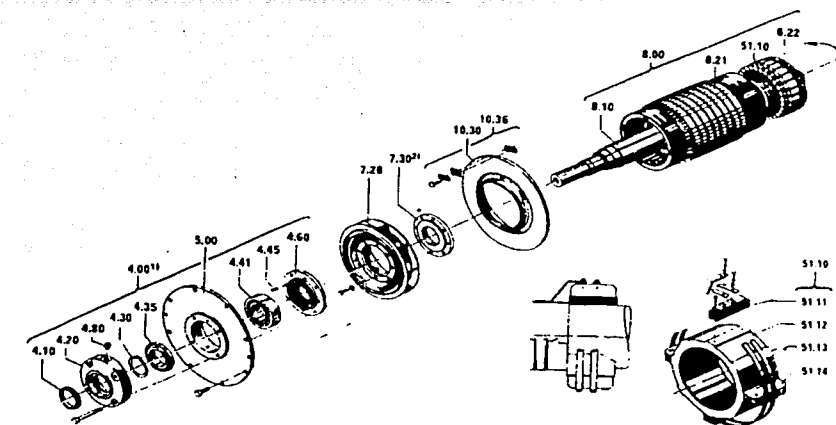


Figura 2.10 (a) Despiece de una máquina sincronía.



- 3.00 Conjunto de rodamiento (cojinete de guta)
- 3.20 Tapa externa del rodamiento
- 3.30 Anillo trenaje
- 3.35 Disco centrífugo
- 3.40 Rodamiento de bolas (cojinete de guta)
- 3.60 Tapa interna del rodamiento con anillos de hierro
- 3.80 Engrasador
- 4.00 Conjunto de rodamiento (cojinete libre)
- 4.10 Anillo V
- 4.20 Tapa externa del rodamiento
- 4.30 Anillo trenaje
- 4.35 Disco centrífugo
- 4.41 Rodamiento de bolas (cojinete libre)
- 4.45 Muelles de presión
- 4.60 Tapa interna del rodamiento con anillos de hierro
- 4.80 Engrasador
- 5.00 Tapa portacojinete lado del accionamiento o de la punta del eje
- 6.01 Tapa portacojinete, lado contrario al accionamiento o a la punta del eje AS, con anillo de corona y polos de excitatriz
- 7.20 Rueda del cono y polos de excitatriz
- 7.30 Cubo del ventilador
- 8.00 Rotor completo

- 8.10 Eje
- 8.21 Paquete de chapas del rotor con arrollamiento de la máquina principal
- 8.22 Paquete de chapas del rotor con arrollamiento de la excitatriz
- 10.00 Carcasa del estator (con paquete de chapas y arrollamientos)
- 10.15 Presilla de tierra
- 10.30 Detector del lado del accionamiento o de la punta del eje AS
- 10.36 Elemento de fijación
- 10.40 Deflector del lado contrario al accionamiento o a la punta del eje AS
- 10.46 Elementos de fijación
- 10.57 Tapon
- 10.60 Chapa de persiana
- 10.81 Chapa de persiana
- 10.70 Cubierta lateral
- 10.75 Cubierta con cierre
- 10.78 Cierre
- 10.80 Tapa
- 10.81 Tapa
- 20.10 Soporte de las barras
- 20.27 Barra de soporte
- 20.30 Tapa
- 20.36 Anillo de seguridad (-O-Ring-)

- 20.36 Cierre
- 20.55 Tapa
- 20.58 Cierre
- 20.80 Entrada de cables
- 20.88 Cierre
- 21.01 Guía
- 21.04 Tapon de Goma
- 21.62 Bloque de bornes para el circuito auxiliar
- 22.30 Barra de empalme para el circuito principal
- 22.31 Cantонера aislante
- 30.40 Elemento de refrigeración aire/agua
- 50.00 Unidad de excitación
- 50.20 Regulador de tensión con circuito de potencia
- 50.40 Transformador de corriente
- 51.10 Anillo rectificador con módulos, completo
- 51.11 Módulo varistor
- 51.12 Cubo
- 51.13 Anillos de empalme
- 51.14 Módulo rectificador

Figura 2.10 (b) Despiece de una máquina sincronía.

Los materiales empleados para la carcasa, los porta cojinetes, las cajas de empalme y los ventiladores por lo general son de hierro fundido o chapa de acero. Las guías de aire, los intercambiadores de calor, y las tapas de inspección suelen ser chapas de acero. El aluminio y la fibra de vidrio también son materiales comunes para algunos de estos componentes. Aunque se pueden considerar las partes activas (como paquetes de chapas del estator, del rotor y de los arrollamientos) semejantes en los diversos tipos de motores, existen diferencias significativas en el número, el arreglo y la construcción de los arrollamientos y en los núcleos ferromagnéticos que producen características de funcionamiento diferentes.

El núcleo del estator de los motores asíncronos suele construirse con un paquete de chapas de acero al silicio, aisladas por una capa de barniz. El paquete de chapas puede ser una única pieza o estar subdividido en varios paquetes más pequeños, montados sobre el eje con pequeños intervalos entre ellos a fin de permitir el paso del aire de refrigeración. Algunas veces, en motores de baja potencia, sólo se utilizan chapas de acero con un bajo nivel de carbono, tratadas térmicamente para el crecimiento del grado y para la deposición de una capa de óxido aislante en la superficie.

En las ranuras del estator se alojan las bobinas del arrollamiento trifásico. Para los motores de baja tensión, los hilos que componen el arrollamiento suelen ser de cobre (algunas veces de aluminio), de sección circular y aislados por capas de esmalte. Para los motores de mediana tensión, los conductores son de cobre, generalmente de sección rectangular, aislados con tiras de material aislante basándose en mica o fibra de vidrio, aglomerados con resina sintética. Una vez insertados en las ranuras, los arrollamientos son sujetos con cintas de fibra de vidrio y se someten a una impregnación con resina epóxica o poliéster que, después de curados, les confieren mayor rigidez mecánica y dieléctrica.

El núcleo de los motores asíncronos es básicamente igual al del estator de motores de rotor arrollado, el arrollamiento es sustancialmente igual al del estator, con la diferencia de que las tres terminales de salida están conectadas a tres anillos rozantes, montados en el eje del motor y sobre los cuales, escobillas de carbón fijas a la estructura de la carcasa permiten la intersección de resistores externos para el arranque y/o regulación de velocidad.

Cuando se trata de motores de jaula, el arrollamiento del rotor está compuesto de barras de cobre, aluminio o mezcla de cobre, insertadas en las ranuras y soldadas en los extremos a anillos de corto circuito, también de cobre o de una mezcla. En motores de pequeña potencia la jaula suele ser de aluminio fundido.

Según las características de ejecución deseadas, las barras del rotor podrán tener sección circular, rectangular, trapezoidal o tener forma de L. Pueden construirse rotores con dos jaulas independientes, una más cerca de la periferia del rotor (jaula externa o de arranque) y otra montada debajo de la primera (jaula interna o de funcionamiento).

Los motores, llevan además de sus partes básicas algunos accesorios extras como las cajas de conexiones, que se emplean para la conexión a los circuitos de alimentación. Normalmente se trata de un dispositivo sencillo, pero en motores de mediana tensión la caja de conexión merece cuidados especiales.

Las máquinas eléctricas con refrigeración interna pueden estar dotadas de un circuito cerrado de refrigeración, este se monta en el intercambiador de calor sobre la máquina y refrigera el aire que circula a través del motor y del refrigerador. El aire dentro de la máquina circula a través de un ventilador independiente o por un ventilador montado sobre el propio eje del motor. El intercambiador de calor puede ser del tipo aire / aire o aire / agua. En el primer tipo el aire caliente de la máquina es forzado a circular por conductos longitudinales, dentro de los cuales un ventilador externo fuerza el paso de aire fresco. Con respecto al intercambiador aire / agua, se refresca el aire caliente con el agua que circula a través de los tubos finos. El material utilizado en los intercambiadores de calor aire / agua debe ser apropiado para las condiciones del agua que servirá como medio refrigerante.

## CAPÍTULO 3

### CARACTERÍSTICAS DE LOS MOTORES ELÉCTRICOS

Una vez conocidos los motores que podemos seleccionar y su principio básico de funcionamiento deberemos elegir un motor que se adecue a nuestras necesidades específicas. Tenemos básicamente dos tipos de motores, de corriente alterna y corriente continua. Cada uno opera de una forma particular con características específicas de arranque. La diferencia entre ellos mas significativa es el precio, ya que los de cc tienen un costo mayor y son alimentados con cc, lo que implica una instalación eléctrica adaptada a su alimentación. Unos años atrás los motores de cc eran preferidos para aplicaciones que requerían un control preciso. Pero con el crecimiento de la electrónica de potencia, se puede tener un control preciso sobre los motores de c.a., siendo ya posible utilizarlos en lugar de los de c.c., dado que son más económicos. Los motores de c.a. se fabrican en un gran número de estilos o tipos, según la clase de servicios a que se destinan y según el tipo de energía que utilizan.

#### 3.1 Características Generales.

##### *Velocidad de sincronismo.*

Este término se refiere a la velocidad en revoluciones por minuto del campo magnético giratorio que se establece en el estator por las corrientes suministradas por la línea.

##### *Deslizamiento.*

Los motores de inducción no operan nunca a la velocidad de sincronismo, ya que sus rotores tienen que girar siempre con una velocidad ligeramente inferior a la del campo magnético giratorio, para que los conductores del rotor corten las líneas de fuerza e induzcan en ellos las características necesarias. Esta diferencia entre velocidad real de operación de los motores de inducción o asíncronos y la velocidad de sus campos magnéticos giratorios se le llama deslizamiento de motor.

El deslizamiento de un rotor variará según la carga, si aumenta la carga se reduce la velocidad del rotor y esto hace que el campo magnético corte los conductores del rotor, por lo tanto, se induce en el rotor una corriente más intensa necesaria para aumentar el par del motor que ha aumentado con la carga.

El deslizamiento necesario para producir la fuerza que impulsa la carga nominal del motor depende de las características de este, y según el tipo de motor el deslizamiento puede variar entre el 2 y el 20%.

Las características de los motores dependen en gran parte de su construcción y por consiguiente los de un tipo cualquiera de motor pueden variar considerablemente según el fabricante.

En la actualidad se encuentran en el mercado motores de todos los tipos comunes con las características necesarias para casi cualquier caso que pueda presentarse, y para casos muy específicos los fabricantes pueden construir motores del tipo que se adapte mejor a las necesidades peculiares de cada uno.



### *Par de arranque, par de plena carga y par máximo.*

El término de par se refiere al esfuerzo giratorio desarrollado por un motor. EL par motor se expresa y se mide en Newton-metro (Nm).

Los periodos importantes del par motor que se deben tener en cuenta al elegir los motores de características apropiadas, son el par de arranque, el par de plena carga y el par máximo que se ilustran en la figura 3.1.

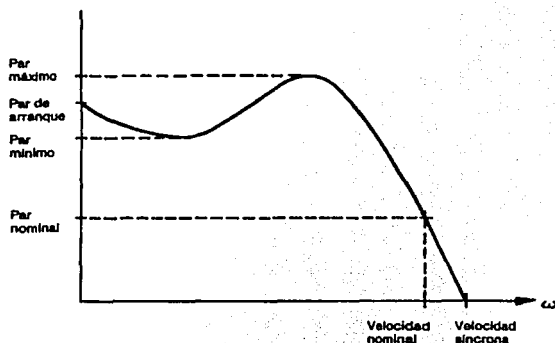


Figura 3.1 Par máximo, Par de arranque, Par mínimo y Par nominal contra velocidad en el arranque de un motor.

*El par de arranque*, o sea, el esfuerzo de giro ejercido por un motor al arrancar, es determinante, y debe tenerse siempre en cuenta al seleccionar motores que tienen que arrancar con fuertes cargas.

El par de arranque de los motores de inducción varía de 2 a 5 veces el par a plena carga, dependiendo del tipo de construcción del motor y del voltaje de línea aplicado durante el arranque.

*El par máximo*, es el valor más alto del par que puede desarrollar el motor sin que tienda a frenarse, suele llamarse también "par de desenganche", por que es el valor de par que hace que el motor disminuya de velocidad súbitamente y tienda a "desengancharse" de la carga. El par máximo de los motores ordinarios de corriente alterna varía entre 1.5 y 3 veces el par de plena carga.

*El par de plena carga* de un motor se toma como base, y el par de arranque y el máximo se comparan con él y se expresan en la forma de un cierto porcentaje del par de plena carga.

Además de los pares mencionados anteriormente se tienen otros pares como son: *el par mínimo*, que cuando una vez que el motor se ha puesto en movimiento, el par tiende por lo común a un valor más bajo.

*El par de aceleración*, es la diferencia entre el par desarrollado por el motor y el par requerido por la carga a una velocidad dada.

### **3.2 Características del motor de corriente alterna.**

Los motores de c.a., se construyen para satisfacer casi todas las necesidades imaginables en la impulsión de maquinaria y aparatos de toda clase.

Algunos de los motores que actualmente se construyen son de alta eficiencia y producen un par de arranque excelente, un muy buen intervalo de control de velocidad y algunas otras características que antes se creían sólo posibles con motores de c.c.

Entre las ventajas de los motores de c.a. tenemos que su velocidad es prácticamente constante, y el motor de jaula de ardilla, el cual es de los más usados, no tiene anillos rozantes o deslizantes, ni escobillas y por consiguiente, suprime todas las chispas y el riesgo de incendio, así como un menor número de partes sometidas a desgaste.

De estos motores podemos encontrar un gran número de estilos o tipos, según la clase de servicio a que se destinan. Los más comunes son los de repulsión, inducción y síncronos.

Todos los diferentes tipos de motores de corriente alterna tienen ciertas características distintas en lo que respecta a su par de arranque, de plena carga y máximo, su regulación de velocidad, su factor de potencia, su rendimiento, etc.

Es necesario verificar la disponibilidad máxima de kVA en el arranque. Debemos considerar también las diferentes tensiones de alimentación a las que podría conectarse el motor, ya que en algunos casos es posible obtener un ahorro importante si la tensión de funcionamiento se elige de modo que sea mínimo el costo total de la instalación incluyendo el equipo de control.

Es necesario conocer las características para seleccionar el motor adecuado a las transmisiones mecánicas a los que se aplicarán.

Las características de los motores dependen de su fabricación y por lo tanto del fabricante. Las curvas se obtienen haciendo funcionar el rotor sin carga aplicada a la flecha.

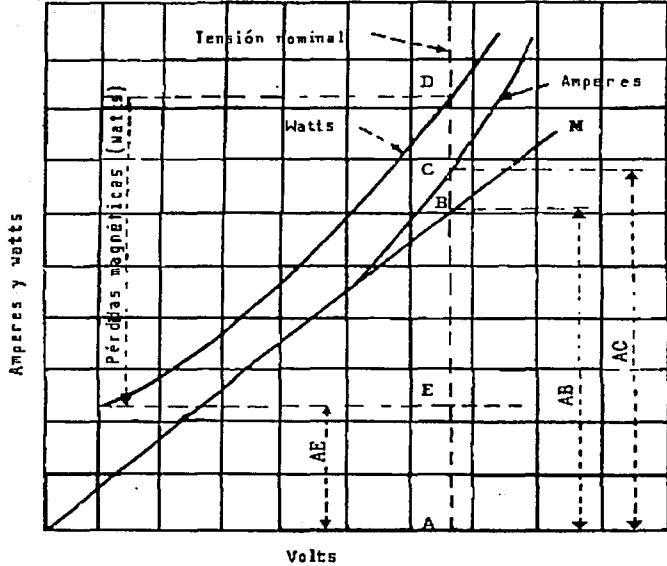


Figura 3.2 Curvas de saturación sin carga

Las curvas que se obtienen nos indican las condiciones a las que podrá operar el motor.

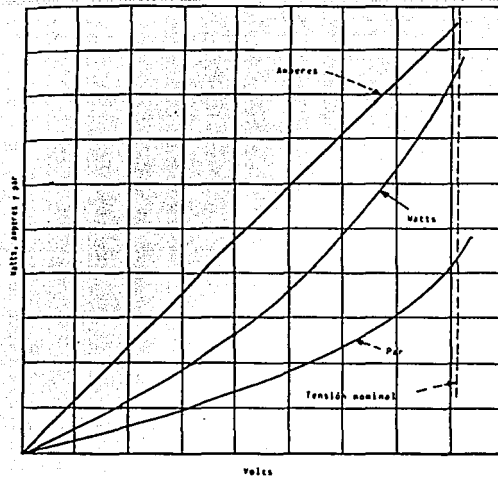


Figura 3.3 Curvas de saturación a rotor bloqueado

*Curvas de operación.*

Un análisis de las curvas de operación, mostradas en las figuras, permite deducir algunos hechos no evidentes a primera vista que pueden ser de utilidad para juzgar la correcta aplicación de motor.

## Característica par-velocidad

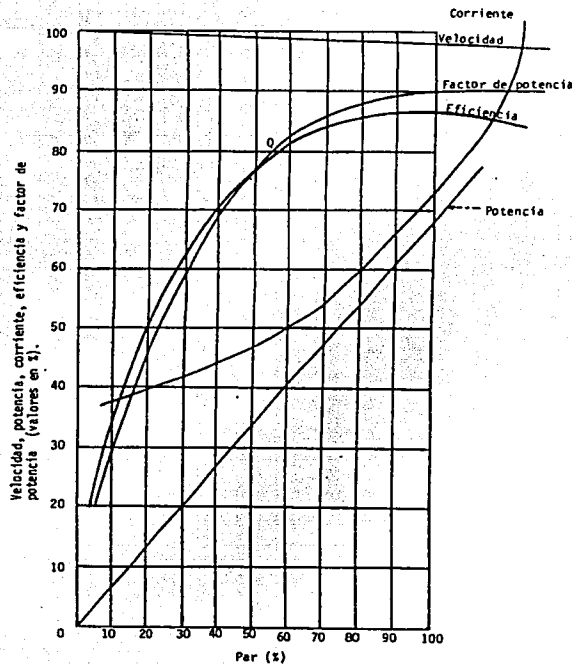


Figura 3.4 Curvas de operación

Modificando el diseño de motor tipo jaula de ardilla es posible controlar hasta cierto punto la corriente y el par de arranque. Dentro de las normas nema se clasifican los diseños de los motores en cuatro tipos:

- Motores de par normal y corriente de arranque normal (diseño nema a).
- Motores de par normal y baja corriente de arranque (diseño nema b).
- Motores de alto par y baja corriente de arranque de doble jaula en el rotor (diseño nema c).
- Motores de alto deslizamiento (diseño nema d).

Las curvas par-velocidad para cada tipo se muestran en la siguiente gráfica.

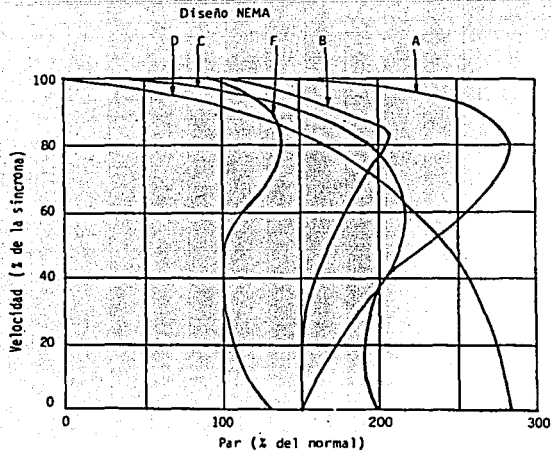


Figura 3.5 Curvas velocidad-par correspondiente a los distintos diseños NEMA

La corriente que toma un motor de inducción consta de dos componentes: una reactiva o magnetizante y otra activa o de trabajo. La componente que produce el par, es decir, la que realiza el trabajo útil, está prácticamente en fase con el voltaje, es decir, su factor de potencia es casi el 100%. La componente magnetizante podría considerarse puramente inductiva, salvo por la pequeña resistencia del devanado y porque tal corriente está atrasada 90 grados respecto a voltaje. Por tanto, su factor de potencia es prácticamente 0.

Lo anterior se refiere a los motores tipo jaula de ardilla. Los motores de inducción de rotor devanado tienen ligeras variantes y para los motores síncronos las características se pueden obtener a partir de las curvas v.

En lo que se refiere a los motores de inducción con rotor devanado, se puede tener un mayor control en cuanto a velocidad y corriente de arranque.

Las ventajas que tiene un motor de inducción de rotor devanado con respecto al de jaula de ardilla son:

1. Posibilidad de obtener un par de arranque adaptado a la máquina o equipo impulsado.
2. Reducción máxima de la demanda de corriente de arranque.
3. Permite arranques de larga duración o frecuentes con ayuda de resistencias apropiadas.

#### 4. Posibilidad de controlar dentro de ciertos límites la velocidad para diferentes cargas.

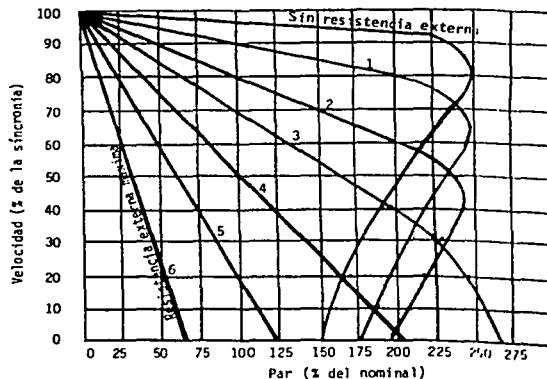


Figura 3.6 Efecto del cambio de resistencia en el secundario de un motor de inducción de rotor devanado.

#### *Características del motor sincrónico trifásico*

Con respecto a estos motores se han mejorado las características de arranque y funcionamiento al extremo que se pueden utilizar con éxito en servicios industriales para lo que anteriormente se consideraban inadecuados.

Ese tipo de motor trabaja con un alto factor de potencia, un elevado rendimiento, tiene anillos rozantes (no chisporrotea), grandes entrehierros entre el estator y el rotor, bajos kVA de arranque, comparado con el motor de inducción.

Las principales características de operación del motor sincrónico se pueden analizar en las curvas  $v$  que se muestran

#### Motores de repulsión

Este tipo de motores obtienen su par motor por la repulsión entre los polos definidos inducidos en el rotor y los polos establecidos en el estator por la corriente suministrada por la línea.

### 3.3 Características del motor de corriente continua.

Estos tipos de motores son extremadamente flexibles en sus características de operación, ya que permite ajustar su velocidad con gran precisión, además, estos motores tienen mayor eficiencia que los de c.a. en aplicaciones que impliquen aceleración y desaceleración frecuentes con cargas elevadas. Las desventajas son en costo y tamaño, ya que son mayores que los motores de c.a.

Las siguientes figuras nos presentan los circuitos y graficas de los principales motores de c.c.

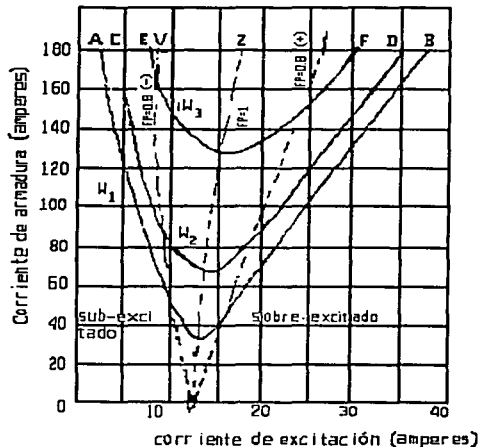


Figura 3.7 Familia de curvas "V" correspondientes a un motor sincrónico trifásico, de 150 C.P. 550 Volts, 60 Hz.

- Curva AB, corresponde a un 25% de carga nominal ( $W_1 = 30.5$  kW)
- Curva CD, corresponde a un 50% de carga nominal ( $W_2 = 61.0$  kW)
- Curva EF, corresponde a un 100% de carga ( $W_3 = 122$  kW)

Curvas de factor de potencia (F.P.):

XV con factor de potencia 0.8 atrasado (línea punteada)

XY con factor de potencia 0.8 adelantado.

XZ con factor de potencia unitario



### Motor derivado

Es considerado como motor de velocidad constante, pues su variación es muy pequeña cuando se trabaja desde vacío hasta plena carga. A mayor carga, mayor es el par motor desarrollado, ideal para cargas que pueden ser retiradas en forma súbita sin provocar sobre velocidades.

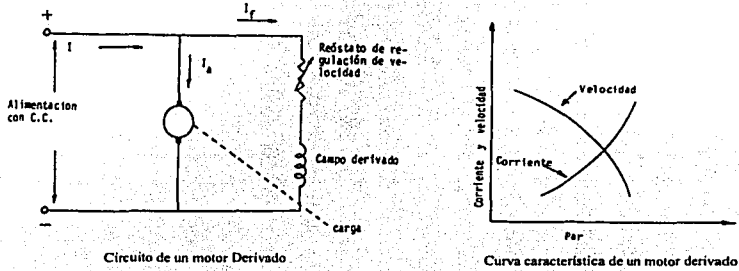


Figura 3.8 Motor Derivado

### Motor serie.

Absorbe una elevada corriente de arranque, por lo que desarrolla un gran par motor.

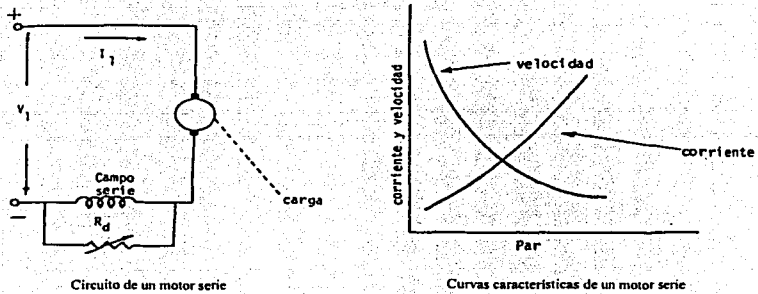
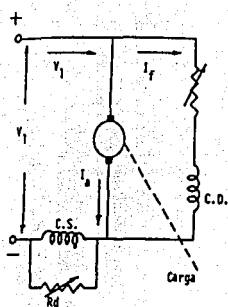


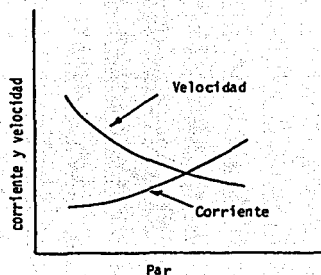
Figura 3.9 Motor Serie

### Motor combinado.

Como reúne las características de los dos anteriores, se recomienda emplearlo en casos en los que se prevé aplicar y retirar cargas en forma constante sean notables o variables.



$V_1$  = Voltaje de línea  
 $I_1$  = Corriente de línea  
 $I_a$  = Corriente de armadura  
 $I_f$  = Corriente de campo  
 $R_d$  = Resistencia derivadora  
 $C.D.$  = Campo derivado  
 $C.S.$  = Campo serie



Circuito y características de un motor compuesto

Figura 3.10 Motor Compuesto

En la figura 3.11 vemos las características de los motores serie, derivado y compuesto para poder apreciar las diferencias en sus características par-velocidad de cada uno de ellos.

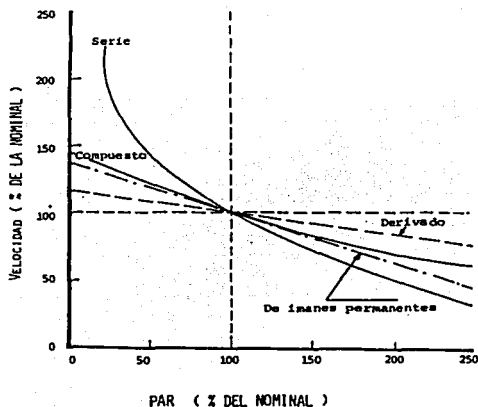


Figura 3.11. Curvas par-velocidad en motores de C.C.

### 3.4 Pérdidas.

Durante la conversión de energías eléctrica a mecánica, también se desarrolla energía calorífica, que no se utiliza, por lo que se le denomina pérdida de energía.

Esto se puede comprobar de la manera siguiente: Un motor eléctrico que esta en reposo se le toma la temperatura y luego se hace funcionar hasta alcanzar las condiciones normales de operación con carga, se puede observar que dicha máquina elevó sensiblemente su temperatura, al pasar del estado de reposo al estado de funcionamiento, esto indica que parte de la energía convertida se ha transformado en calor.

Si el motor eléctrico esta construido principalmente por hierro, cobre o aluminio y aislamientos, se tendrán las siguientes pérdidas:

- Pérdidas mecánicas.
- Pérdidas del hierro o magnéticas.
- Pérdidas eléctricas.
- Pérdidas eléctricas en los devanados.
- Pérdidas indeterminadas.
- Perdidas en los aislamientos.

#### *Pérdidas mecánicas.*

Las pérdidas por fricción y ventilación o pérdidas mecánicas, representan la energía mecánica empleada por el motor para contrarrestar la fricción en cojinetes o rodamientos, la fricción de las escobillas contra el conmutador o los anillos rozantes y la fricción viscosa de las partes móviles y estáticas (baleros, rodamientos, etc.), especialmente en las aletas de ventilación que forzan el aire. Parte de esta energía perdida se convierte en calor. Puede suponerse que las pérdidas mecánicas se manifiesten constantes desde la operación sin carga hasta carga plena, lo cual es bastante razonable aunque no absolutamente cierto; cualquier discrepancia puede incluirse en el renglón de pérdidas indeterminadas. Las pérdidas mecánicas no son fáciles de calcular, por lo que se calculan por medio de algún método experimental aceptado.

Para los motores de inducción de rotor devanado, las pruebas se hacen con las escobillas en su posición normal, de modo que la fricción en ellas quede incluida en la medición. En los casos de motores de c.c., dado que la fricción entre las escobillas y el conmutador varia mucho con las condiciones superficiales de los materiales en contacto, la prueba se hace levantando las escobillas y agregando posteriormente cierta cantidad de Watts, dependiendo del tipo y tamaño de las escobillas, al valor medio de las perdidas mecánicas.

#### *Pérdidas del hierro o magnéticas.*

Cuando las moléculas de acero que forman el núcleo magnético, son magnetizadas primero en una dirección y luego en la dirección opuesta por la corriente alterna aplicada, ocurre una pérdida de energía dentro del acero, la cual se manifiesta en forma

de calor y se denomina pérdida por histéresis. Esta pérdida aumenta con la densidad del flujo magnético (mayor corriente) o con la frecuencia de voltaje aplicado.

El campo magnético alterno induce también pequeñas tensiones (FEM) en el rodete y el núcleo del acero, los cuales generan corrientes que circulan al azar por esos elementos. Estas corrientes se denominan corrientes parásitas, y al actuar sobre la resistencia eléctrica del acero producen también una pérdida de potencia que se manifiesta en forma de calor. Las pérdidas por corrientes parásitas varían también con la densidad de flujo y con la frecuencia de alimentación, tal como ocurre con las pérdidas por histéresis, y estos dos conceptos se combinan en el término pérdidas magnéticas.

Las pérdidas magnéticas varían con la corriente de carga del motor, los cambios en la velocidad y otras condiciones de operación, y es difícil medirlas en condiciones dinámicas. Por tanto, el método aceptado para determinarlas consiste en medirlas en determinadas condiciones y suponer que son constantes para cualquier valor de carga del motor. Las diferencias derivadas de esta suposición se consideran dentro del renglón de pérdidas indeterminadas. Estas pérdidas también son llamadas pérdidas del hierro o de Eddy.

#### *Pérdidas eléctricas.*

Las pérdidas en los devanados se denominan frecuentemente "pérdidas en el cobre", lo cual no es estrictamente correcto, ya que en la actualidad muchos motores fraccionarios o integrales de baja potencia tienen devanados construidos de alambre magneto de aluminio. Por lo anterior, la denominación correcta es la de pérdidas eléctricas ( $I^2 R$ ), lo cual indica potencia convertida en calor por la resistencia de conductores de cobre o aluminio.

Las pérdidas eléctricas totales son la suma de las pérdidas  $I^2 R$  en el estator o primario y las pérdidas  $I^2 R$  en el rotor o secundario incluyendo en estas últimas las pérdidas por contacto de las escobillas y en las mismas escobillas en el caso de un motor de rotor devanado o de c.c.

#### *Pérdidas eléctricas en los devanados.*

Las pérdidas  $I^2 R$  reales dependen no sólo de la corriente, sino también de la resistencia de los devanados en las condiciones de operación.

La resistencia real efectiva de un devanado varía con la temperatura, carga, flujo magnético, efecto superficial de la c.a., distribución no uniforme de la corriente entre los conductores y otros factores similares. Aún para condiciones específicas es sumamente difícil determinar el valor exacto de la resistencia del devanado. La práctica normal prescribe por tanto hacer la medición del valor de la resistencia con corriente continua a la temperatura de estabilización que alcancen los devanados con el motor operando a carga plena en un ambiente de 25 °C. El cálculo de la resistencia se corrige a esta temperatura. El error inducido al considerar esta suposición se compensa con otras pérdidas de pequeña cuantía que quedan dentro de las pérdidas indeterminadas.

### *Pérdidas indeterminadas.*

También llamadas de dispersión, ya se ha mencionado que algunos tipos de pérdidas se consideran constantes en todo el intervalo de operación del motor, desde vacío hasta plena carga, aún cuando se sabe que las pérdidas en realidad varían ligeramente con la carga.

Existen además otras pérdidas que no pueden ser calculadas. Por ejemplo debido a la variación del flujo magnético con la carga, el efecto superficial de la corriente alterna y la configuración de los conductores, la corriente no se distribuye en ellos en forma equitativa, y la densidad de corriente en cada conductor no es perfectamente uniforme. Además, al aumentar la corriente también se incrementa la temperatura y la resistencia de los conductores, con el consiguiente aumento de las pérdidas en ellos. Asimismo, al incrementarse el flujo magnético se elevan las pérdidas magnéticas. Todas estas pérdidas menores provenientes de fuentes conocidas o desconocidas se agrupan como pérdidas indeterminadas, que son función de las cargas del motor. Estas pérdidas se estiman por procedimientos normalizados de prueba y cálculos basados en tales procedimientos. La forma de evaluarlas puede conducir a pérdidas sustanciales en los valores de eficiencia calculada.

### *Pérdidas en los aislamientos.*

Las pérdidas en los aislamientos son tan pequeñas que se consideran insignificantes, estas pérdidas son denominadas dieléctricas.

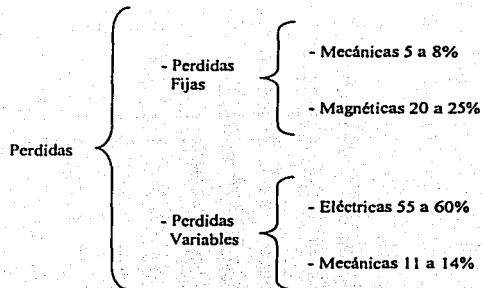


Figura 3.12 Porcentajes de pérdidas en un motor eléctrico

### Rebobinado del motor

Siempre que un motor se rebobina, aunque se realice en un taller de calidad, se produce una disminución en la eficiencia del motor, ya que sus elementos se ven sometidos a sobre calentamiento, golpes, sobreesfuerzos mecánicos, mala calidad de las refacciones, etc.

Se puede asegurar que cuando un motor se repara en un taller adecuado, su eficiencia disminuye hasta el 2%, mientras que si se realiza en un taller de mala calidad, puede disminuir hasta un 6%, sin embargo, es común que se considere un 3% de disminución de eficiencia por cada rebobinado realizado al motor

Cuando hay que decidir entre rebobinar un motor quemado o adquirir un motor nuevo ya sea estándar o de alta eficiencia, se pueden obtener los valores de ahorro anuales asumiendo que el motor existente opera a la eficiencia promedio de los motores en el mercado y que opera a la eficiencia promedio de dichos motores que se fabricaron en esa época, por lo que se puede obtener dichos valores de la tabla, en la cual se muestran los valores de eficiencia de motores fabricados de 1985.

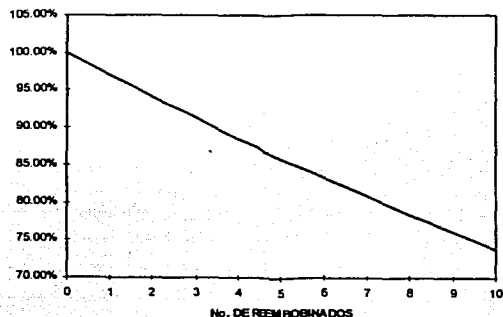


Figura 3.13 Variación de la eficiencia por rebobinado

### 3.5 Eficiencia

Una característica fundamental de todo equipo eléctrico es su eficiencia, es decir, su capacidad para convertir en trabajo la energía que reciben.

Básicamente un motor es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. Por lo tanto, es de suma importancia que la energía que recibe de la alimentación, se convierta en trabajo y se transmita en su totalidad a través del movimiento de la flecha del motor.

Sabemos que lo anterior es imposible. Ya que durante la operación de cualesquiera equipo eléctrico, se producen pérdidas de energía por diferentes conceptos. En el caso de los motores eléctricos, actualmente se están fabricando motores denominados de alta eficiencia, con lo cual, los motores utilizados normalmente se les llama motores de eficiencia estándar.

Estos motores de alta eficiencia, tienen un menor consumo de energía, para transmitir la misma potencia en su flecha que un motor de eficiencia estándar.

Para poder hablar de alta eficiencia o eficiencia estándar, es necesario que definamos lo que es eficiencia y que es lo que provoca que esta disminuya o se incremente. Los motores estándar tienen una eficiencia que varía entre el 80 y 90%, mientras que en los motores de alta eficiencia, está varía entre 87 y 96%.

La potencia entregada en la flecha por un motor nunca podrá ser igual a la potencia recibida en la alimentación esto se debe a que durante el proceso de conversión se producen pérdidas de energía.

Para la rentabilidad del empleo de un motor eléctrico es de importancia conocer el valor de la eficiencia. La potencia total consumida por un motor comprende, la empleada para impulsar la carga y la que se pierde en el mismo motor.

La eficiencia( $\eta$ ) de un motor es la relación de la potencia de salida ( $P_s$ ) entre la potencia de entrada ( $P_e$ ) en Watts.

$$\eta\% = \frac{P_s}{P_e} \times 100$$

Las pérdidas totales ( $P_t$ ) están dadas por:

$$P_t = P_e - P_s$$

O también:

$$\eta\% = \frac{C.P. \times 746}{\sqrt{3}VI \cos\phi} \times 100$$

Donde:

- C.P. = Potencia de salida en HP
- V = Tensión
- I = Corriente que demanda el motor en Amperes
- Cos = Factor de potencia
- $\phi$

Algunos motores eléctricos presentan una mayor eficiencia con relación a otros tipos de motores. Un motor que funciona con baja carga tiene mayor porcentaje de pérdidas que otro igual que opera a plena carga, debido a que las pérdidas fijas son constantes cualquiera que sea la carga.

Considerando que un motor rara vez opera al 100 % de su potencia nominal, debe diseñarse para que su eficacia sea razonablemente aceptable desde el 60 % hasta el 100 % de su capacidad nominal, debido a que en la mayor parte de los casos la eficiencia estará localizada entre el 75 y el 80 %. La eficiencia es muy baja con cargas reducidas, y en el caso extremo, como el rotor cuando opera en vacío no desarrolla trabajo alguno y en cambio si toma cierta potencia de la línea, su eficiencia en estas condiciones es cero.

Para tener idea de la eficiencia de un motor eléctrico se tiene que cuando esta máquina opera a plena carga su eficiencia es de 75% para un motor de 1 caballo de potencia (CP), del orden del 88 a 90% para motores de 50 C.P., de 92 a 94% para motores de 500 CP y de 97 % para motores de 5000 C.P. Los motores lentos suelen tener una eficiencia mas baja, de un 2 a un 4 % menor que los de alta velocidad para la misma potencia. Los motores eléctricos tienen la máxima eficiencia, cuando las pérdidas fijas son aproximadamente iguales a las pérdidas variables.

Aún cuando la definición sea sencilla, su determinación no es tan fácil, es por eso que las normas de diversos países recojan este problema y den instrucciones muy detalladas, sobre el particular, señalando las condiciones bajo las cuales deben ser realizadas las pruebas para la determinación experimental de la eficiencia.

### 3.6 Determinación de la eficiencia de un motor.

Aunque existen varios métodos de medir la eficiencia de un motor, no es nada sencillo el realizarlo. Desde el punto de vista normalización, existe la norma IEEE-112 método B. El cual cuenta con cinco métodos para medir la eficiencia.

- Freno magnético ajustable
- Usando un dinamómetro
- Dos motores idénticos acoplados pero uno de ellos con alimentación ajustable para producir la carga deseada.
- Mediciones y cálculos
- Cálculos

Estos métodos se utilizan para motores nuevos, es decir, motores prototipo, sin embargo, para cuestiones de diagnósticos energéticos o evaluaciones de motores, es necesario saber como se comportan en cuanto a eficiencia, pero no se pueden ni quitarle de la maquina accionada, ni colocarle frenos u otros equipos de medición, por lo que tiene aplicación práctica.

#### Determinación Práctica de la Eficiencia de un Motor.

Para tener idea de la eficiencia de un motor se tiene que cuando esta maquina opera a plena carga su eficiencia es de alrededor del 75% para un motor de 1 HP, del 88 al 90 % para motores de 50 HP, de 92 a 94% para motores de 500 HP y de 97% para motores de 5000 HP. Los motores lentos suelen tener una eficiencia mas baja, de 2 a un 4% menor que los de alta velocidad para la misma potencia.



Para desarrollar este punto, se tomara el siguiente ejemplo.

Supóngase que se desea comparar un motor de 40 HP con uno de 50 HP, para una carga real impulsada de 37.5 HP empleando eficiencias a plena carga y al 75 % de la misma que indica el fabricante se obtienen los siguientes resultados:

Potencia nominal	Eficiencia al 100%	Eficiencia al 75%	C	Perdidas a 37.5 HP
40 HP	89%	88%	0.6057	3.512 kW
50 HP	90.5 %	90%	0.5288	3.108 kW

La carga es de  $37.5 \times 0.746 = 27.975$  kW, por lo que la eficiencia de cada motor con carga es:

Para el motor de 40 HP

$$\eta = \frac{27.975}{27.975 + 3.512} \times 100$$

$$\eta = 88.85 \%$$

Para el motor de 50 HP

$$\eta = \frac{27.975}{27.975 + 3.108} \times 100$$

$$\eta = 90.00 \%$$

#### *Método de la Eficiencia Ajustada.*

En este método también es necesario medir los principales parámetros eléctricos del motor como potencia activa en kW, voltaje entre fases, corriente en las fases, factor de potencia y la distorsión armónica.

Con estos valores y con ajustes, basados en los cálculos, se determina la eficiencia a la que se encuentra trabajando realmente el motor en cuestión.

Este método se basa en evaluar los factores que afectan la eficiencia de un motor y en base a ello afectar la eficiencia de placa por estos ajustes y determinar la eficiencia de trabajo.

#### *Factor de carga*

Los motores eléctricos tienen una curva de comportamiento de eficiencia de acuerdo al factor de carga al que está operando. Esta curva define el diseño del fabricante y generalmente existen diferencias entre ellas, a veces de gran consideración.

Para efectos del presente trabajo, se tomara como base de evaluación, la siguiente curva de eficiencia de un motor de inducción típico. Si se tiene los datos de eficiencia a diferentes valores de carga, es decir, al 25, 50, 75 y 100%, se podría hacer una interpolación, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Factor de Interpolación} = \frac{FC1 - FCx}{FC1 - FC2}$$

Donde:

FC1 es el factor de carga superior conocido

FC2 es el factor de carga inferior conocido

FCx es el factor de carga al que se encuentra trabajando el motor

Y el factor de ajuste es :

$$Y = Y1 - \text{fac de Int} (Y1 - Y2)$$

Donde:

Y es la eficiencia actual

Y1 es la eficiencia al valor superior

Y2 es la eficiencia al valor inferior.

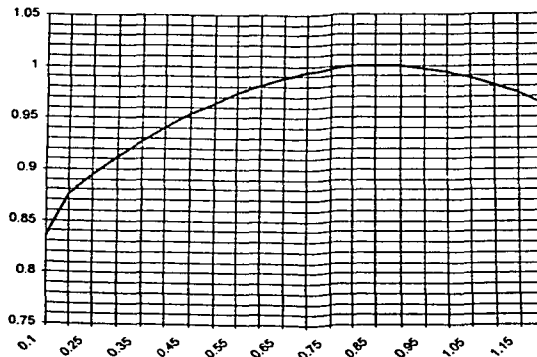


Figura 3.14 variación de la eficiencia con la carga

## **CAPÍTULO 4**

### **AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS.**

Pueden describirse tres tipos de medidas de ahorro de energía. El primero es el recorte, es decir, prescindir del uso de energía. El segundo tipo es la reforma, que consiste en cambiar hábitos de vida y la forma de producir bienes y servicios. El tercer tipo de medidas implica un uso más eficiente de la energía para adaptarse a su mayor coste. Esta última alternativa es más fácil de aceptar para los gobiernos y la sociedad en general.

El ahorro de energía puede darse mediante el aumento de su eficacia al ser manipulada. Las etiquetas en los aparatos con su información nos ayudara a realizar una correcta selección, además si entre los fabricantes empieza una lucha por eficacias, esto reedituara en el ahorro de energía a nivel mundial.

A nivel industria el ahorro de electricidad puede darse mediante sistemas avanzados de control de potencia, instalación de motores eléctricos modernos e iluminación de gran eficacia.

La conservación de la energía sólo puede conseguirse si se introduce un plan de gestión de energía con un seguimiento riguroso y metas de progreso. La motivación de la mano de obra es esencial y sólo es posible si existe un compromiso abierto al más alto nivel. La mejora en la conservación de la energía es tanto un problema psicológico como técnico y financiero.

Entre las formas de ahorrar energía en motores están los variadores de velocidad, que son convenientes cuando existen motores que operan con cargas variables, a veces en función de la temperatura, otras en función del flujo o presión, dependiendo de las condiciones de uso o de la ocupación. La idea es adaptar la potencia a las necesidades del momento, logrando con esto tener, por así decirlo, un motor de potencia variable y por lo tanto un motor que reduce sus requerimientos de energía eléctrica, obteniendo de esta forma ahorros substanciales.

En este trabajo nos enfocamos a la aplicación de motores de alta eficiencia, por lo que es importante conocer sus características, el comparar costos y un ejemplo para poder apreciar los ahorros que se podrían obtener.

#### **4.1 Ahorro de energía en motores eléctricos.**

¿Por qué buscar ahorros a partir de los motores?, por que son los que más consumen energía eléctrica en la industria, y por ser esta una de las mayores demandadoras de este tipo de energía. Además su uso es general ya que como se comento anteriormente, los encontramos en elevadores, ventiladores, compresores, bombas, aplicaciones caseras, molinos, transportes, etc.

Como mencionamos anteriormente, las industrias utilizan del 70% al 80% de la energía que consumen en sus motores eléctricos, es por esto que debemos ver la forma de disminuir sus costos de operación.

Algunas de las formas que se perciben a primera vista son:

- Una adecuada selección del motor según las necesidades de la empresa.
- Una correcta instalación eléctrica que alimentará al motor.
- Un adecuado control y operación del mismo.
- Revisión del factor de potencia y corregirlo en medida de lo posible.

Debido a la necesidad cada vez más apremiante de disminuir costos de operación, existe un nicho de oportunidad de ahorro en el uso de motores de alta eficiencia, ya sea sustituyendo los motores estándar que se dañen o adquirir los de alta eficiencia para nuevas instalaciones, y como el costo de la energía eléctrica se encuentra en crecimiento constante, esta oportunidad es cada vez más rentable.

#### 4.2 Selección adecuada del motor.

Una forma de reducir las pérdidas es la selección del motor. La compra e instalación de motores de alta eficiencia resulta una atractiva inversión comparada con los motores de eficiencia normal, considerando las mismas condiciones de operación.

Para comprender plenamente estos beneficios, el comprador puede realizar desde un simple cálculo hasta una completa evaluación económica en la que se incluyen análisis de costos por ciclo de vida. Normalmente conforme la cantidad de motores aumenta y la instalación crece, se requiere el desarrollo de un análisis más detallado.

Si se desea comparar la eficiencia de los dos motores, el comprador debe considerar el tipo de motores involucrados, las horas anuales de operación, la carga del motor, el costo de la energía eléctrica y las eficiencias de los motores.

Estos son los datos básicos que se emplean para seleccionar entre un motor de eficiencia estándar y uno de alta eficiencia, o bien entre dos motores de alta eficiencia de diferentes fabricantes. Conviene aclarar que es indispensable que los valores de eficiencia estén en la misma base, es decir comparar eficiencia normal con eficiencia normal o garantizada contra garantizada.

Para conocer la potencia ahorrada ( $P_a$ ) al adquirir estos motores eléctricos de alta eficiencia realizamos una comparación entre estos dos tipos de motores recurriendo a la siguiente expresión matemática.

$$P_a = 0.746 * CP * L * \left( \frac{100}{E_B} - \frac{100}{E_A} \right)$$

El ahorro anual puede estimarse de la siguiente manera:

$$\text{Ahorro} = (\text{CP}) * 0.746 * \text{N} \times (\$/\text{kWh}) * \left( \frac{100}{E_B} - \frac{100}{E_A} \right)$$

Donde:

CP	Es la potencia del motor expresada en HP.
N	El número de horas de operación por año.
(\$/kWh)	El costo de la energía eléctrica.
E <sub>B</sub>	La eficiencia del motor B (Motor Standard).
E <sub>A</sub>	La eficiencia del motor A (Motor de alta eficiencia).

Si no se conoce a fondo el mercado de los motores, no resulta fácil la elección del motor adecuado para satisfacer plenamente nuestras necesidades, pero existe la posibilidad de consultar asesores como el FIDE, el uso de programas de cómputo para la determinación de el tipo de motor que más se adecue a nuestras necesidades o indicando al proveedor del motor nuestras necesidades.

Es importante también, tomar en cuenta la posición o el lugar donde se encontrara ubicado el motor, ya que las condiciones ambientales también influyen en la operación del motor, por ejemplo si se encuentra en un lugar donde exista una elevada temperatura los aislantes podrían tener una menor vida útil, lo mismo pasaría si se encontrara en una atmósfera corrosiva.

De los motores seleccionados es necesario tomar en cuenta que requerirán un mantenimiento apropiado y periódico para alargar la vida útil del motor.

Otro aspecto importantísimo y que debe ser tomado en cuenta a la hora de seleccionar el motor son las condiciones en las que operara el equipo, ya que los ambientes corrosivos y húmedos afectan directamente el tiempo de vida del motor. Afortunadamente existen en el mercado motores diseñados para soportar ambientes poco adecuados para los motores, por ejemplo en la tabla 4.1 apreciamos algunos tipos y características especiales de operación de algunos motores.

CONDICIONADO EN	TIPO DE MOTOR
Fábrica y oficinas limpias, almacenes, casetas de elevadores, cuartos aislados para motores, plantas generadoras y toda clase de aplicaciones donde la atmósfera sea limpia y seca.	Estándar a prueba de goteo
En interiores o exteriores protegidos, pero con alta humedad ambiental	A prueba de goteo con APH
En interiores con polvo metálico (máquinas, herramientas para trabajo pesado, industria automotriz, etc.).	Motor TCCV
En interiores o exteriores con alta humedad y vapores o salpicaduras químicas	Motor TCCV tipo Químico
En interiores o exteriores con polvo abrasivo.	Motor TCCV
Mismo que el anterior, pero con vapores o gases químicos en adición	Motor TCCV tipo Químico
Polvos secos no explosivos, negro de humo, etc.	Motor TCCV
Aplicaciones polvosas y húmedas con materiales como polvo y pulpa, que pueden obstruir los ductos de ventilación de un motor abierto.	Motor TCCV tipo Químico
Condiciones tropicales	Motor TCCV tipo Químico
Atmósferas explosivas.	Motor TCCV a prueba de explosión

Tabla 4.1 Motores especificados por su posible localización.

### 4.3 Correcta instalación del motor.

La instalación eléctrica necesaria para la correcta operación del motor es importantísima, ya que esta representa una fuerte inversión inicial, y que de no ser la adecuada representaría otro fuerte desembolso para corregirla.

Lo mismo podríamos decir de la base donde se colocara el motor, la cual debe ser firme y del tamaño exacto para evitar que la flecha opere fuera de un eje adecuado y por la parte de la base evitar las vibraciones.

Una vez teniendo los datos anteriores, hay que tener presente que todos los motores eléctricos traen de fábrica sus características completas grabadas en una placa metálica pegada a la carcasa, a dichas características se les conoce como "Datos de placa", en los que se indica marca y nombre del fabricante, potencia, corriente, tensión, velocidad, frecuencia, etc.

Para la correcta instalación de los motores eléctricos bajo las mejores condiciones técnicas y de seguridad, es necesario tomar en cuenta un número tal de datos como: sistema y tipo de corriente que se dispone, tensión, frecuencia, tipo de carga, etc.

### *Instalaciones industriales.*

Las instalaciones, como ya se menciono, deben ser las adecuadas con los sistemas de protección que se necesiten y desarrolladas en base a normas. Para realizar este tipo de instalaciones deben tenerse un sin número de consideraciones, unas de las cuales pueden ser:

- Las canalizaciones para conectar motores deben ir independientes en las canaletas de cualquier otra instalación.
- Se deben de tener dos tipos de planos, uno para lámparas y contactos y el otro de potencia.
- Se debe señalar claramente los motores en los planos mediante un círculo con su respectiva numeración.
- Crear un CUADRO DE FUERZA Y PROTECCIONES a partir del cuadro de cargas.
- Para presupuestar una instalación eléctrica industrial, por obvias razones se omiten datos, sin embargo, puede tomarse como referencia que se cobra por tendido de líneas de alimentación, colocación, conexión de interruptores, centros de carga, tableros, motores, etc., además se toma en cuenta el grado de dificultad del trabajo que puede ser consecuencia de la construcción del local o del medio ambiente.

### *Demanda y rendimiento de motores eléctricos.*

Por requerimientos de la Comisión Federal de Electricidad y la Cia. de luz y fuerza del Centro, S.A., deben asignarse los siguientes valores en ATS a los motores eléctricos en los cuadros de cargas, para así incluir las pérdidas al cambio de energía eléctrica a mecánica, ya que los HP marcados en los datos de placa solamente nos indican la potencia en la flecha mas no la potencia que toman de la línea.

Potencia indicada	CFE		Luz	
	Motores		Motores	
HP	Monofásicos Watts	Trifásicos Watts	Monofásicos Watts	Trifásicos Watts
1/01/20	60		60	
1/01/16	80		80	
1/08/02	150		150	
1/06/02	202		200	
1/04/02	293	264	290	260
1/03/02	395	355	390	350
0.5	527	507	520	500
0.75	780	740	770	730
1	993	953	980	940
1.5	1480	1418	1460	1400
2	1935	1844	1910	1820
2.5	2390	2290	2360	2260
3	2766	2726	2730	2690
5		4490		4430
7		6293		6210
7.5		6577		6490
10		8674		8560
15		12860		12690
20		16953		16730
25		21188		20910
30		24725		24400
40		32609		32180
50		40756		40220

Tabla 4.2 Equivalencias de motores eléctricos.

*Rendimientos promedios considerados.*

	Mínimo	Máximo
Compañías de Luz	85.78%	89.50%
CFE	85.85%	89.96%

**Generalidades.**

El control más económico y en consecuencia el más empleado para los motores de inducción de jaula de ardilla, es el "Arrancador a tensión completa".

Este tipo de control tiene un inconveniente, la aplicación súbita de un par mayor que el de a plena carga, el cual puede dañar la flecha de la máquina movida (torciéndola o rompiéndola en el peor de los casos) y producir además perturbaciones en el sistema eléctrico, debido a la caída de tensión súbita producida por la alta corriente de arranque del motor. Las perturbaciones del sector eléctrico pueden constatarse por el parpadeo o cintileo de las lámparas e inclusive en ocasiones se provoca el paro de otros motores.

Por las anteriores razones, las compañías suministradoras de la energía eléctrica, objetan este tipo de arrancadores para motores medianos y grandes (de 15 HP en adelante) y exigen el empleo de "Arrancadores a tensión reducida", para con ellos reducir el par y la corriente de arranque. La corriente podrá reducirse lo más que permita la reducción del par, siendo el valor mínimo de este, el que determine la tensión mínima que debe aplicarse.



#### **4.4 Operación del motor en condiciones satisfactorias.**

La administración de la energía en cuanto a los motores eléctricos, es la consideración de los factores que contribuyen a reducir el consumo de energía. El motor eléctrico es la máquina más eficiente convertidora de energía eléctrica en energía mecánica; su diseño y aplicación se basan sobre los requerimientos de la máquina de transmisión como: arranque y aceleración, velocidad, carga, condiciones de servicio, eficiencia, factor de potencia y costo inicial del motor.

La operación del motor basada en sus especificaciones técnicas representa ahorro. En primer lugar aumenta la vida útil del motor ya que se evitan sobrecalentamientos al no utilizarlos en condiciones no óptimas de operación.

##### *Potencia, tensión y frecuencia nominales.*

La carga nominal, o la potencia máxima que pueden producir los motores dependen, como en el resto de la maquinaria eléctrica, del calor desarrollado en ellos. Los motores de c.a. se calientan debido a las pérdidas en el cobre y en el núcleo, así como en los rodamientos. La potencia nominal de un motor cualquiera de c.a. es la carga que puede soportar continuamente sin calentarse en exceso.

La tensión indicada en la placa de un motor, es el valor correcto al que debe funcionar. Casi todos los motores ordinarios de c.a. se construyen para dar una potencia nominal determinada de plena carga mientras el voltaje no varíe en más de un 5 % por encima o por debajo del normal, siempre que las condiciones sean normales.

Los motores de inducción pueden desarrollar toda su potencia nominal en HP a frecuencias que no varíen en más de un 5 % respecto a la frecuencia normal para la cual se construyeron, siempre que el voltaje y las demás condiciones sean normales.

##### *Corriente nominal.*

La corriente nominal indicada en la placa de un motor de inducción, se refiere a la corriente absorbida por el motor operando a plena carga, esta debe ser considerada al diseñar la instalación eléctrica.

##### *Tensiones y velocidades nominales.*

La mayoría de los motores trifásicos son para 220,440 y 550 V, pero la mayoría de los motores que tienen potencias de varios cientos de caballos o más, se diseñan para tensiones de 1100, 2300 y hasta 13200 V.

Los motores de corriente alterna de tamaño medio se hacen comúnmente para operar a velocidades entre los 900 y 3600 r.p.m. y los motores de elevada potencia funcionan a velocidades menores que varían de 200 a 600 r.p.m.

Se fabrican también motores monofásicos muy pequeños del tipo de repulsión o del tipo universal en serie para funcionar a velocidades de 4000 a 12000 r.p.m.

### Factor de potencia.

Los dispositivos eléctricos convierten la energía eléctrica en otro tipo de energía tales como: mecánica, luminica, térmica, química, etc. A la energía consumida por dichos dispositivos, que es capaz de producir trabajo útil, se le conoce como potencia activa y es similar a la energía consumida por una resistencia eléctrica, su símbolo es P y sus unidades los Watts (W).

Además de utilizar potencia activa para producir un trabajo, los motores, transformadores y demás equipos similares requieren un suministro de potencia reactiva para generar el campo magnético necesario para su funcionamiento. La potencia reactiva no produce por si misma ningún trabajo; se simboliza con la letra Q y sus unidades son los Volts-Ampers Reactivos (VAR).

A la suma geométrica de las potencias activa y reactiva, o bien, el producto de la corriente y el voltaje se le denomina potencia total o aparente, su símbolo es S y sus unidades se expresan en Volts-Amperes (VA).

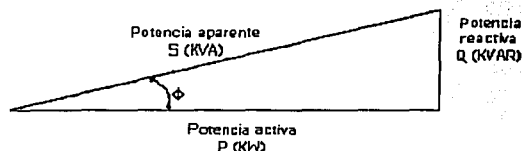


Figura 4.1 Triangulo de potencias

En la figura 4.1 Tenemos representado un triangulo de potencias en la que se observa que el factor de potencia ( $\text{Cos } \phi$ ) es la relación entre la potencia activa y la aparente, y describe la relación entre la potencia de trabajo real y la potencia total consumida.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{P}{S} \quad \text{y} \quad \text{Tan } \phi = \frac{Q}{P}$$

El factor de potencia (FP) expresa en términos generales, el defasamiento o no de la corriente con relación a la tensión, y es utilizado como indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, el cual puede tomar valores entre 0 y 1.0 siendo la unidad el valor máximo de FP y por lo tanto el mejor aprovechamiento de la energía.

En caso de que el factor de potencia sea inferior a 1.0, implica que los equipos consumen energía eléctrica reactiva, y por lo tanto se incrementa la corriente eléctrica que circula en las instalaciones del consumidor y de la compañía suministradora en la medida en que el factor de potencia disminuya; los excesos de corriente pueden provocar daños en las instalaciones eléctricas por efecto de sobrecargas, además, produce alteraciones en la regulación de tensión, con lo cual empeora el rendimiento y el funcionamiento de los equipos. En la figura 4.2 Podemos observar que para una

potencia constante, la cantidad de corriente se incrementa en medida que el factor de potencia disminuye.

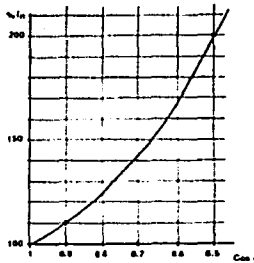


Figura 4.2

Las causas que originan el bajo factor de potencia son las cargas inductivas como motores, balastos, transformadores, etc., y las consecuencias de tener un bajo factor de potencia son:

- Incremento de las pérdidas por efecto Joule.
- Sobrecarga de los generadores, transformadores y líneas de distribución.
- Aumento de la caída de tensión.
- Incremento de la potencia aparente.
- Incremento de la factura eléctrica.
- Se afecta a la red eléctrica tanto en alta como en baja tensión.

En México cuando se tiene un factor de potencia por debajo del estipulado, el suministrador de energía eléctrica tendrá derecho de cobrar al usuario una penalización o cargo por la cantidad que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine según la siguiente ecuación.

$$\text{Penalización (\%)} = \frac{3}{5} \times \left[ \frac{0.9}{FP} - 1 \right] \times 100$$

Pero si el factor de potencia se encuentra por encima del valor establecido, el usuario recibirá una bonificación por la cantidad que resulte de aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Bonificación (\%)} = \frac{1}{4} \times \left[ 1 - \frac{0.9}{FP} \right] \times 100$$

El factor de potencia de motores trifásicos de jaula de ardilla funcionando a plena carga puede variar entre el 60 y el 70 % en el caso de los motores pequeños de poca velocidad, y del 75 al 90 % en los motores de tamaño medio, y en los motores grandes de varios cientos de caballos o más, el factor de potencia puede elevarse hasta el 90 o 96%.

El factor de potencia es una característica importante que debe tomarse en cuenta al elegir los motores de inducción grandes o un gran número de motores pequeños, ya que puede economizarse en la facturación de la energía manteniendo el factor de potencia del sistema lo más alto posible.

Los motores de inducción funcionan con un factor de potencia bajo cuando tiene pequeña carga y, por esta razón, deben elegirse los motores de modo que durante el funcionamiento normal operen la mayor parte del tiempo a plena carga o cerca de ella.

#### *Factor de servicio.*

Cuando en la placa de un motor se señala un factor de servicio mayor de 1.0, este factor indica la capacidad de sobrecarga del motor a la tensión y frecuencia nominales.

Cuando la carga del motor es igual a su potencia nominal multiplicada por el factor de servicio, entonces la eficiencia, el factor de potencia y la velocidad serán diferentes de los valores especificados al 100 % de carga.

Si un motor opera con una sobrecarga equivalente a su factor de servicio, no puede admitirse simultáneamente variaciones de tensión y frecuencia.

#### *Aumento de temperatura.*

Para un tamaño de motor y un sistema de ventilación determinados, es posible establecer una capacidad de disipación en [ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ] que permita calcular la elevación de la temperatura como función de las pérdidas del motor que contribuyen al calentamiento.

Todos los materiales aislantes son afectados por el calor, el cual los envejece y deteriora gradualmente hasta que llega el momento en que el aislamiento falla o pierde por completo sus propiedades dieléctricas.

En general, las condiciones de servicio más relevantes a cuidar en la operación de un motor eléctrico son:

- *Instalación:* La temperatura del ambiente de trabajo debe ser menor a los  $40^{\circ}\text{C}$  en áreas donde no se obstruya la ventilación.
- *Operación dentro de una tolerancia de -5% y +5% del voltaje nominal.*
- *Operación a partir de una fuente senoidal* (Cuyo factor de desviación no exceda el 5%)
- *Limites de frecuencia de -5% y +5% de la nominal.*
- *Desbalance de voltaje no mayor al 1%.*

Se debe evitar trabajar en condiciones diferentes de las usuales ya que eso podría provocar un consumo adicional de energía.

#### 4.4.1 Variación de Tensión.

La eficiencia de un motor que opera a carga plena no se altera en forma notable con ligeras variaciones de tensión, ya que las pérdidas por efecto Joule en el estator y en el rotor tienden a moverse en dirección opuesta a las pérdidas magnéticas, lo cual hace que el efecto neto sea pequeño. En cambio si la carga es menor las variaciones de tensión se traducirán en un decremento significativo de la eficiencia.

El voltaje de alimentación del motor debe mantenerse lo más cercano posible al valor indicado en placa, cuando esto no sucede así, se dice que el motor opera con diferencia de voltaje.

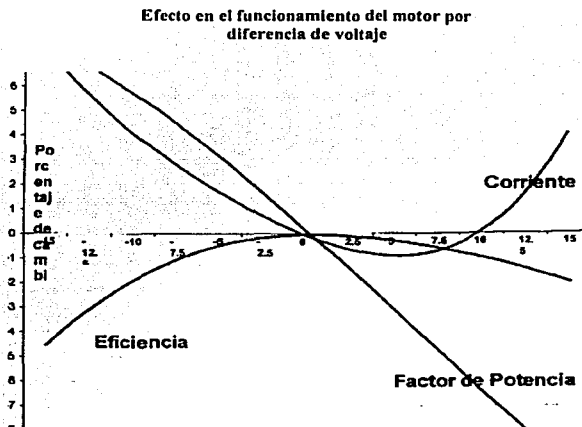


Figura 4.3 Variación de la eficiencia con el voltaje

#### *Motor con sobre tensión.*

Provoca reducción en la eficiencia, incremento en el factor de potencia y se incrementa también la corriente de arranque, ya que las corrientes magnetizantes se incrementan exponencialmente.

### *Motor con baja tensión.*

Provoca un mayor consumo de corriente para compensar la potencia solicitada por el par, se incrementa el factor de potencia, pero el motor se sobre calienta, dañando prematuramente los aislamientos del motor y disminuyendo su vida útil.

El par de arranque de un motor de inducción es proporcional al cuadrado del voltaje, por lo que al disminuir este, el voltaje también disminuye.

### *Desbalance de tensión.*

Cuando las tensiones de alimentación no son iguales entre sí, la eficiencia del motor se disminuye en forma notable, a medida que aumenta dicho desbalanceo.

Esto se debe a que el voltaje desbalanceado produce un correspondiente flujo magnético de secuencia negativa que ocasiona una corriente desbalanceada, cuyo valor es mayor al que circularía en condiciones normales.

Estas corrientes de secuencia negativa crean pares que se oponen al par normal del motor, provocando vibraciones y en algunos casos fallas catastróficas.

En la fase que conduce la mayor corriente el porcentaje en que se incrementa la temperatura es aproximadamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje del desequilibrio de voltaje.

Los motores de alta eficiencia son más tolerantes a la variación de voltaje, gracias a su diseño y su construcción.

Como la corriente de magnetización aumenta con el voltaje, el factor de potencia de un motor de inducción se reduce cuando se eleva la tensión por encima del valor nominal. A menor tensión generalmente mejora el factor de potencia.

La reducción en la eficiencia del motor debido a la aplicación de una tensión alta o baja a sus terminales puede corregirse por métodos de energía establecidos. La acción más simple consistirá en ajustar las derivaciones del transformador adecuado.

La mayor parte de los problemas de alta tensión se deben a una caída excesiva en las líneas de alimentación del motor. Si la carga varía considerablemente en el transcurso del día, pudiese justificarse el uso de un cambiador automático de derivaciones.

### *Desvalance en el sistema trifásico.*

El voltaje desvalanceado produce un correspondiente flujo magnético de secuencia negativa que ocasiona una corriente desbalanceada, cuyo valor es más grande que el de aquella que circularía en condiciones de tensión en equilibrio. El nivel de desequilibrio en la corriente de carga plena será generalmente de orden de 6 a 10 veces el valor del desequilibrio de voltaje, y se incrementara a medida que se reduzca la carga.

La eficiencia del motor se reduce en forma notable a medida que se aumenta el desequilibrio. Un desequilibrio de 3.5 % se traduciría en un aumento en las pérdidas de aproximadamente un 25 %, con lo consiguiente incremento en la elevación de la temperatura. Incluso un ligero desequilibrio en el voltaje aplicado ocasionará un rápido incremento en la temperatura de operación del motor.

En la fase que conduce la corriente mas intensa, el porcentaje en que aumenta la temperatura es aproximadamente proporcional a dos veces el cuadrado del porcentaje del desequilibrio del voltaje. Tal desequilibrio podría también provocar vibraciones electromagnéticas, que provocaría fallos en los rodamientos.

Otra causa frecuente de desequilibrio de voltaje es un circuito abierto en el lado primario del sistema de distribución. La distribución no uniforme de cargas monofásicas sobre un sistema de alimentación es otra de las causas.

#### **4.4.2 Variación de la frecuencia.**

La variación de la frecuencia genera algunos efectos en el motor, entre los que tenemos:

- La velocidad del motor se reduce en forma proporcional a la reducción de la frecuencia.
- El flujo, y por lo tanto, la densidad de flujo en el circuito magnético del motor se incrementan, por ser inversamente proporcional a la frecuencia.
- La corriente magnetizante se incrementa al incrementarse el flujo.
- El par que debe desarrollarse es más alto debido a la disminución de la velocidad.
- Se incrementa el par de arranque del motor.
- Se eleva así mismo el valor del par máximo.
- El factor de potencia desciende en la mayor parte de los casos.
- Normalmente la eficiencia tiende a disminuir.
- La temperatura se eleva por el incremento en las pérdidas acompañado al mismo tiempo de un descenso de la capacidad de enfriamiento del sistema de ventilación.
- Aumenta el ruido de origen magnético en el motor debido al mayor nivel de saturación en el circuito magnético.

En lo que se refiere a la mayor frecuencia se mejoran las condiciones de operación del motor, con respecto a cuando es baja la frecuencia.

#### **4.4.3 Corrección del factor de potencia.**

La demanda de potencia reactiva se puede reducir mediante la conexión de capacitores en paralelo con la carga de bajo factor de potencia. Dependiendo de la cantidad de reactivos que entregan los capacitores, se reduce parcial o totalmente la potencia reactiva tomada de la red eléctrica, en consecuencia aumenta el FP. A este proceso se le denomina compensación del factor de potencia.

Una cuestión importante, es determinar el valor de la potencia reactiva del capacitor que se necesita para la compensación del factor de potencia. Para explicar esto, analicemos la Figura 4.5

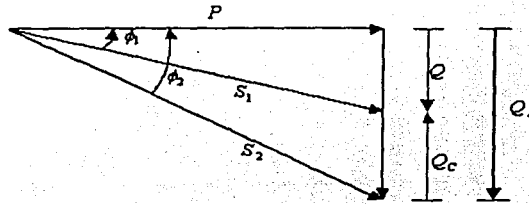


Figura 4.4 Representación gráfica de la compensación del factor de potencia

Donde:

- $Q_L$  es la demanda de reactivos de un motor y  $S_2$  la potencia aparente correspondiente.
- $Q_C$  es el suministro de reactivos del capacitor de compensación.
- La compensación de reactivos no afecta el consumo de potencia activa.

Como efecto del empleo de los capacitores, el valor del ángulo  $\phi_2$  se reduce a  $\phi_1$ , del mismo modo, la potencia aparente  $S_2$  también disminuye, tomando el valor de  $S_1$ .

Finalmente, al disminuir la demanda de reactivos, se incrementa el factor de potencia ( $\text{Cos } \phi_1 > \text{Cos } \phi_2$ ).

*Cálculo del tamaño del capacitor.*

- La potencia reactiva del capacitor es:  $Q_C = Q_L - Q$ .
- Del triángulo de potencias,  $Q = P \text{ Tan } (\phi)$ .
- Sustituyendo en la primer ecuación:  $Q_C = P (\text{Tan } \phi_2 - \text{Tan } \phi_1)$ .

Por facilidad, el término  $(\text{Tan } \phi_2 - \text{Tan } \phi_1)$  se sustituye por una constante "K" la cual puede presentarse en tablas para diferentes valores de factor de potencia, (ver Tabla 1).

Entonces:

$$Q_C = P \times K$$



Factor de potencia Inicial	Factor K															
	Factor de potencia deseado															
	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1	
0.66	0.545	0.572	0.599	0.626	0.654	0.683	0.712	0.743	0.775	0.810	0.847	0.888	0.935	0.996	1.138	
0.67	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108	
0.68	0.485	0.512	0.539	0.566	0.594	0.623	0.652	0.683	0.715	0.750	0.787	0.828	0.875	0.936	1.078	
0.69	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798	0.845	0.907	1.049	
0.70	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.565	0.594	0.625	0.657	0.692	0.729	0.770	0.817	0.878	1.020	
0.71	0.398	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992	
0.72	0.370	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964	
0.73	0.343	0.370	0.396	0.424	0.452	0.481	0.510	0.541	0.573	0.608	0.645	0.686	0.733	0.794	0.936	
0.74	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658	0.706	0.765	0.908	
0.75	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882	
0.76	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.400	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.605	0.652	0.713	0.855	
0.77	0.235	0.262	0.289	0.316	0.344	0.373	0.403	0.433	0.466	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829	
0.78	0.209	0.236	0.263	0.290	0.318	0.347	0.376	0.407	0.439	0.474	0.511	0.552	0.599	0.660	0.802	
0.79	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525	0.573	0.634	0.776	
0.80	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499	0.547	0.608	0.750	
0.81	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724	
0.82	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447	0.495	0.556	0.698	
0.83	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421	0.469	0.530	0.672	
0.84	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646	
0.85	0.026	0.053	0.080	0.107	0.135	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620	
0.86	---	0.027	0.054	0.081	0.109	0.138	0.167	0.198	0.230	0.265	0.302	0.343	0.390	0.451	0.593	
0.87	---	---	0.027	0.054	0.082	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567	
0.88	---	---	---	0.027	0.055	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540	
0.89	---	---	---	---	0.028	0.057	0.086	0.117	0.149	0.184	0.221	0.262	0.309	0.370	0.512	
0.90	---	---	---	---	---	0.029	0.058	0.089	0.121	0.156	0.193	0.234	0.281	0.342	0.484	
0.91	---	---	---	---	---	---	0.030	0.060	0.093	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456	
0.92	---	---	---	---	---	---	---	0.031	0.063	0.097	0.134	0.175	0.223	0.284	0.426	
0.93	---	---	---	---	---	---	---	---	0.032	0.067	0.104	0.145	0.192	0.253	0.395	
0.94	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363	
0.95	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329	
0.96	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.041	0.089	0.149	0.292	
0.97	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.048	0.108	0.251	
0.98	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.061	0.203	
0.99	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0.142	

Tabla 4.3 Factor o constante "K" que sustituye al término  $(\tan\phi_2 - \tan\phi_1)$

El valor de potencia reactiva que resulte de  $Q_r$  será el resultado del banco de capacitares que se deberá adquirir para suministrar la potencia reactiva para corregir el factor de potencia.

#### 4.5 Reducción de pérdidas en la fabricación de motores.

Generalmente un motor eléctrico se diseña buscando la máxima eficiencia, pero durante el proceso de manufactura se alteran algunas características del diseño, tales como el maquinado exterior del rotor que debería tener un entrehierro "uniforme" o el rotor debe ser "concéntrico" con respecto al estator, lo mismo se puede decir del estator con respecto al rotor.

La práctica de fabricación corriente inevitablemente introduce asimetrías, excentricidades, desalineaciones y variantes que en algunos motores aumentan las pérdidas, lo mismo podríamos decir de otras partes como son los cojinetes, las tapas, el balanceo dinámico, el ventilador, el aislamiento tanto de las laminaciones como de los conductores. Por lo anterior es necesario un riguroso control en los procesos de manufactura para reducir las pérdidas a un valor mínimo.

Lo que se realiza para fabricar motores más eficientes es:

- Disminuir las pérdidas por histéresis usando acero al silicio de grano orientado en lugar de acero al carbón, y mejorando las técnicas de fabricación.
- Las pérdidas de Eddy o parásitas se pueden reducir haciendo más finas las aleaciones del estator y del rotor y aislando mejor entre si dichas laminas o incrementando el tamaño del núcleo, con lo que la densidad en el núcleo disminuye y con ello las pérdidas.
- Para reducir las pérdidas por efecto Joule, es necesario incrementar la sección transversal del conductor de los devanados ya que como se sabe, el efecto piel hace que la mayoría de los electrones se transporten por la superficie del conductor, que es la parte menos densa y menos caliente, con lo que al aumentar dicha superficie las pérdidas disminuyen. Generalmente los devanados de los motores de alta eficiencia son de mayor calibre y utilizan una mayor cantidad de cobre.
- Para reducir las pérdidas por fricción y ventilación se utilizan baleros antifricción, ventiladores con aspas de diseño mejorado así como también aletas del estator mejoradas para ofrecer menor oposición al aire suministrado por el ventilador.
- Por el lado de las pérdidas indeterminadas, estas se reducen vigilando la fabricación, paso por paso, de las laminaciones y el acomodo de las mismas en base a un mejor control de calidad.

Tomar estas acciones nos da como resultado un motor de alta eficiencia, pero también provoca un incremento en el costo del motor, el cual puede y debe ser evaluado para determinar si existe alguna ventaja en el usar este tipo de motores en lugar de los estándar.

#### 4.6 Motor de alta eficiencia.

##### 4.6.1 ¿Qué es un motor eléctrico de alta eficiencia?

Ya se ha hablado mucho del motor de alta eficiencia, que nos brinda un ahorro, que lo ideal es sustituir motores estándar por estos otros, ¿pero qué es en si un motor de alta eficiencia? y ¿por qué se denomina así?

Un motor eficiente es aquel que transforma prácticamente toda la energía eléctrica que consume en energía mecánica útil en la flecha del motor.

La mayoría de las naciones desarrolladas incluyendo Estados Unidos, Reino Unido, Alemania y Japón han dado grandes pasos para hacer del uso de los motores de alta eficiencia un mandato, ellos están convencidos de que esto ayudara al ahorro de energía y preservar el medio ambiente. Algunos otros países como Tailandia, Australia, Nueva Zelanda, China, etc., están tratando de animar y regular el uso de productos de alta eficiencia como los motores.

Este movimiento fue iniciado por Estados Unidos a través de sus acciones de políticas energéticas (EPACT), la cual se hizo efectiva desde 1998. En Europa también se ha promovido esto a partir de la Asociación Manufacturera Europea (CEMEP), como un acuerdo voluntario de conservar el mínimo nivel de alta eficiencia energética Standard para motores a través de ciertos programas.

En México la utilización de motores de alta eficiencia ha sido limitada por la falta de información, acerca de los beneficios que brindan este tipo de tecnologías, su costo inicial y la falta de oferta de los equipos.

Para mejorar la eficiencia de un motor eléctrico fue necesario optimizar su diseño y manufactura, construyéndolos con materiales de mayor calidad, como se señala a continuación:

- Utilización de acero con mejores propiedades magnéticas (de grano orientado).
- Reducción de la distancia del entrehierro.
- Mejorar el diseño de las ranuras.
- Embobinado de mayor calidad del cobre.
- Aumentar el calibre del conductor.
- Utilización de ventiladores y sistema de enfriamiento más eficientes.
- Mayor vida útil del aislamiento y de los rodamientos.

Como resultado de estas consideraciones se obtienen motores de alta eficiencia los cuales nos brindan una reducción de los costos de operación al reducir el consumo de energía eléctrica.

La generalidad de los motores estándar utiliza acero de bajo contenido de carbón en la construcción del núcleo del rotor y estator. Este tiene un valor típico de 6.6 Watts/kilogramo de pérdidas eléctricas y aproximadamente el mismo costo que el acero rolando en frío común. Para reducir las pérdidas de histéresis y de corrientes parásitas se emplea acero con alto grado de silicio, el cual tiene pérdidas eléctricas de 3.3 W/kg, pero cuesta aproximadamente 50% más que el ACRO al bajo carbón.

De todo lo anterior se observa que para el caso de los motores de alta eficiencia, se tiene especial cuidado en reducir las pérdidas en el motor, pero como consecuencia de ello se incrementa el costo de dichos motores ya que emplean materiales de mayor calidad, estatores más grandes de mejor calidad y una mayor cantidad de cobre en los devanados, rodamientos especiales, acero de mayor calidad, diseños nuevos en sus componentes.

Sin embargo, la aplicación de un motor de alta eficiencia comparativamente con uno de eficiencia estándar es bastante atractiva económica y técnicamente y la diferencia entre la inversión inicial para instalar un motor de alta eficiencia en lugar de uno estándar, se amortiza generalmente de manera rápida, con periodos de recuperación que no exceden de 30 meses si es que el motor esta bien seleccionado.

Para reducir aún más las pérdidas de histéresis y corrientes parásitas, el acero con alto grado de silicio es de calibre menor que el acero de bajo contenido de carbono. El espesor típico es de 0.457mm (0.018") con acero al silicio y de 0.559mm (0.022") con acero de bajo carbono. Además, el ACRO al silicio se le prevé de un recubrimiento aislante superficial para ofrecer una alta resistencia entre laminaciones, limitando así el

valor de las corrientes parásitas. Si se incrementa el área del conductor de cobre entre 35 y 40%, las pérdidas  $I^2R$  se reducirán considerablemente. Para poder acomodar este incremento, el área de la ranura del estator se debe incrementar hasta un 50%. Para compensar el aumento en el tamaño de la ranura y la correspondiente del acero activo, el núcleo del motor debe aumentarse. Esto reduce la densidad de flujo y mejora el factor de potencia obteniéndose así algunos beneficios adicionales.

Las pérdidas  $I^2R$  en el rotor se reducen al rediseñar la ranura del rotor para incrementar la sección del conductor; al hacer esto, la velocidad aumenta ligeramente.

El rediseño de la ranura se debe hacer con mucho cuidado de tal forma que se mantengan los valores de par y la corriente de arranque correspondiente a los valores del par y la corriente de arranque correspondientes a los valores que establecen las normas.

Otra fuente de pérdidas causadas por las corrientes entre las barras del rotor es cuando éste presenta barras inclinadas. La práctica de barras inclinadas es norma en motores pequeños para reducir el ruido magnético y obtener un funcionamiento uniforme. Para reducir las pérdidas de corrientes entre barras de las ranuras del rotor, se tratan las laminaciones con un aislamiento, antes de fundir el rotor.

Existen normas o valores preestablecidos que los motores de alta eficiencia deben cubrir si desean recibir este nombre. Para esto se han generado normas que rigen los valores mínimos de los motores de alta eficiencia para que los fabricantes partan de algo y puedan ofrecer al los usuarios finales equipos de gran calidad, de esta manera no cualquier fabricante puede decir que su motor es de alta eficiencia sin probarlo o documentarlo.

En la tabla 4.3 y 4.4 presentamos unos ejemplos de valores preestablecidos que los fabricantes deben superar para poder decir que diseñan motores de alta eficiencia.

	Ejemplo 100 HP 180 (170-190)		Ejemplo 100 HP 200 (190-210)		Ejemplo 100 HP 250 (230-270)		Ejemplo 100 HP 300 (270-330)	
	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía
Alimentación	93.1	94.5	92.4	93.6	87.5	90.2	87.5	90.3
Alimentación	93.6	95.1	93.1	94.1	88.4	90.4	87.9	91.5
Alimentación		0.47 kW		0.160 kW		0.070 kW		0.075 kW
Alimentación	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Alimentación		\$176		\$96		\$46		\$24
Alimentación		2829 kWh/año		958 kWh/año		420 kWh/año		451 kWh/año

Tabla 4.4

HP	2 Polos		4 Polos		6 Polos		8 Polos	
	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía	Acción Energía
1	75.5	72.0	82.5	80.0	80.0	77.0	74.0	70.0
1.5	82.5	80.0	84.0	81.5	85.5	82.5	77.0	74.0
2	84.0	81.5	84.0	81.5	86.5	84.0	82.5	80.0
3	85.5	82.5	87.5	85.5	87.5	85.5	84.0	81.5
5	87.5	85.5	87.5	85.5	87.5	85.5	85.5	82.5
7.5	88.5	86.5	89.5	87.5	89.5	87.5	85.5	82.5
10	89.5	87.5	89.5	87.5	89.5	87.5	88.5	86.5
15	90.2	88.5	91.0	89.5	90.2	88.5	88.5	86.5
20	90.2	88.5	91.0	89.5	90.2	88.5	89.5	87.5
25	91.0	89.5	92.4	91.0	91.7	90.2	89.5	87.5
30	91.0	89.5	92.4	91.0	91.7	90.2	91.0	89.5
40	91.7	90.2	93.0	91.7	93.0	91.7	91.0	89.5
50	92.4	91.0	93.0	91.7	93.0	91.7	91.7	90.2
60	93.0	91.7	93.6	92.4	93.6	92.4	91.7	90.2
75	93.0	91.7	94.1	92.4	93.6	92.4	93.0	91.7
100	93.6	92.4	94.5	93.6	94.1	93.0	93.0	91.7
125	94.5	93.6	94.5	93.6	94.1	93.0	93.6	92.4
150	94.5	93.6	95.0	94.1	95.0	94.1	93.6	92.4
200	95.0	94.1	95.0	94.1	95.0	94.1	94.1	93.0

Tabla 4.5 Ahora veremos los valores fijados por las normas NOM 016-ENER-1997

HP	2 Polos		4 Polos		6 Polos		8 Polos	
	Nominal	Minima	Nominal	Minima	Nominal	Minima	Nominal	Minima
75.5	72.0	82.5	80.0	80.0	77.0	74.0	70.0	
82.5	80.0	84.0	81.5	84.0	81.5	75.5	72.0	
84.0	81.5	84.0	81.5	85.5	82.5	85.5	82.5	
84.0	81.5	86.5	84.0	86.5	84.5	86.6	84.0	
85.5	82.5	87.5	85.5	87.5	85.5	87.5	85.5	
87.5	85.5	88.5	86.5	88.5	86.5	88.5	86.5	
88.5	86.5	89.5	87.5	90.2	88.5	89.5	87.5	
89.5	87.5	91.0	89.5	90.2	88.5	89.5	87.5	
90.2	88.5	91.0	89.5	91.0	89.5	90.2	88.5	
91.0	89.5	91.7	90.2	91.7	90.2	90.2	88.5	
91.0	89.5	92.4	91.0	92.4	91.0	91.0	89.5	
91.7	90.2	93.0	91.7	93.0	91.7	91.0	89.5	
92.4	91.0	93.0	91.7	93.0	91.7	91.7	90.2	
93.0	91.7	93.6	92.4	93.6	92.4	92.4	91.0	
93.0	91.7	94.1	93.0	93.6	92.4	93.6	92.4	
93.0	91.7	94.1	93.0	94.1	93.0	93.6	92.4	
93.6	92.4	94.5	93.6	94.1	93.0	93.6	92.4	
93.6	92.4	95.0	94.1	94.5	93.6	93.6	92.4	
94.5	93.6	95.0	94.1	94.5	93.6	93.6	92.4	

Tabla 4.6 Valores de eficiencia para motores abiertos de alta eficiencia Norma NOM 016-ENER-1997

#### 4.6.2 ¿Cuándo utilizar motores de alta eficiencia?

Lo ideal sería utilizarlos siempre, desde la aplicación más básica hasta los grandes motores industriales, ya que de esta forma obtenemos un ahorro en el consumo de energía, y al mismo tiempo un ahorro para la nación. Se recomienda que los motores de alta eficiencia sean utilizados.

- En instalaciones nuevas.
- Cuando se realicen modificaciones mayores en procesos existentes.
- Para sustituir motores que han fallado.
- En motores estándar que operan sobrecargados o con baja carga.
- En la adquisición de equipos nuevos como: compresores, sistemas de bombeo, etc.
- Cuando se desee reducir los costos de operación por el ahorro del consumo de energía eléctrica y de la demanda máxima.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

#### 4.7 Comparación entre un motor estándar y uno de alta eficiencia.

CONDICIONES	MOTOR ESTÁNDAR	MOTOR DE ALTA EFICIENCIA	DIFERENCIAL	COMENTARIOS
Precio de compra (\$)	28,540	34,248	5,708	20% mayor
Eficiencia (%)	89.5	93.6	4.1	4.5% mayor
Pérdidas (%)	10.5	6.4	4.1	39% menor
Costo anual de energía (\$)	95,785	91,586	4,199	3.3 y 2.7 veces el costo inicial de los motores
Costo anual de pérdidas (\$)	10,061	5,862	4,199	41.7 % menor
Costo de la energía en 20 años (\$)	1,915,700	1,831,720	83,980	4.3 % menor
Costo de pérdidas en 20 años (\$)	201,220	117,240	83,980	15 veces el costo de la diferencia del precios de compra

Tabla 4.7 Comparación de costos de operación de un motor 50 HP

Condiciones	Motor Estándar	Motor de Alta Eficiencia
Tarifa contratada	OM	OM
Capacidad del motor	40 HP	40 HP
Costo del motor	\$ 10,385	\$ 12,863
Diferencial de precios	24 %	
Incentivo		\$ 1,440
Horas de operación del equipo	6,500 Hrs./año	6,500 Hrs./año
Ahorro en demanda	2.01 Kw./año	
Ahorro en energía	13,065 Kwh./año	
Pago de demanda 1 año	\$ 21,039	\$ 19,795
Pago de energía 1 año	\$ 85,198	\$ 80,158
Ahorro total	\$6,284	
Tiempo de recuperación de inversión total	2 años 1 mes	
Tiempo de recuperación del diferencial de precios	5 meses	
Tiempo de recuperación de inversión total con incentivo	1 año 9 meses	
Tiempo de recuperación de diferencial de precios con incentivo	2 meses	

Tabla 4.8 Comparación entre motor de alta eficiencia y uno estandar

La vida útil de estos motores se estima de 10 a 11 años, por lo tanto obtendrá más de 8 años como beneficio para su empresa.

Asimismo, si se tiene operando motores eléctricos muy antiguos, con varias reparaciones, sobrecargados o sobredimensionado, es muy posible que esos equipos trabajen con una eficiencia muy por debajo de la óptima, por lo que se recomienda analizar la posibilidad de sustituirlos por motores de alta eficiencia que se ajusten a las necesidades de la empresa.

Las fallas en los motores eléctricos, muchas veces son por daños severos y es necesario su rebobinado o su sustitución, si bien es posible reparar un motor, se ha demostrado que su eficiencia se reduce de 1.5 % a 2.5 % cada vez que el motor es rebobinado.

A continuación se muestra una gráfica comparativa de la diferencia de eficiencias existentes entre los motores que se fabricaron hasta 1992 y que es el mayor porcentaje de motores instalados en este momento, la Norma Oficial de Motores Estándar, de Alta Eficiencia y los Motores con Sello FIDE.



**COMPARACION DE LAS EFICIENCIAS PROMEDIO  
CANAME, NOM, SELLO FIDE**

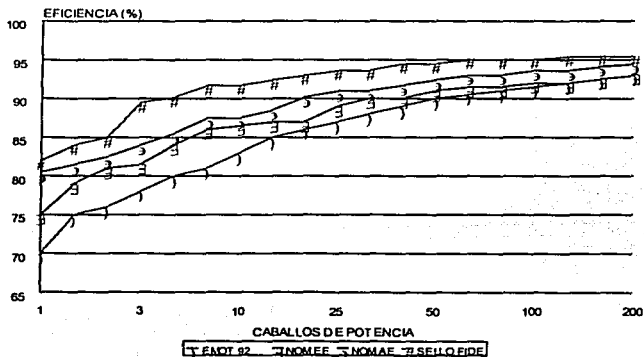


Figura 4.7

**4.8 ¿Cómo evaluar la sustitución de un motor estándar por uno de alta eficiencia?**

Al seleccionar apropiadamente un motor eléctrico se debe considerar sus condiciones de desempeño y evaluar la factibilidad económica de elegir un motor de alta eficiencia.



#### 4.8.1 Metodología de evaluación.

La Metodología de evaluación para la sustitución de motores estándar actualmente operando por motores de alta eficiencia, se basa en la disminución de demanda y consumo en kW. y kWh., por pérdidas de acuerdo con los siguientes conceptos.

##### *A) Factor de Carga.*

Los motores alcanzan su máxima eficiencia cuando están cargados alrededor del 85% y esta disminuye en cuanto el factor de carga aumenta o disminuye.

Además se sabe que la eficiencia se ve también afectada por el factor de carga. Un motor sin carga tendrá una eficiencia de 0 ya que no entrega ninguna potencia al sistema.

El estado que guarda el motor afecta también a su eficiencia, por ejemplo unos baleros en muy mal estado harán que el motor demande más potencia para efectuar el mismo trabajo.

##### *B) Diferencia de Voltaje.*

##### *C) Desbalanceo de Voltaje.*

El desbalanceo de voltaje, así como un voltaje distinto al nominal afectan tanto al motor actual como al motor de alta eficiencia.

##### *D) Rebobinado.*

En la industria mexicana se encuentran miles de motores instalados que han sido rebobinados. Los procesos y técnica de rebobinado de la mayoría de los talleres de reparación de motores son de muy baja calidad y nunca serán iguales a aquellos procesos controlados del fabricante del motor. Se estima que la pérdida de eficiencia en los motores rebobinados puede llegar a ser de hasta el 3% cada vez que se rebobina.

Así un motor que ha sido reembolsando 2 veces tendrá como eficiencia máxima un 94.09% de la eficiencia de placa.

La metodología consiste en determinar, de acuerdo con las mediciones realizadas y los cálculos adecuados, la eficiencia real a la que se encuentran trabajando los motores, tomando en cuenta la disminución de la eficiencia a los diferentes parámetros antes mencionados. Y con base en esto, evaluar la viabilidad técnica y económica de la sustitución del motor en cuestión, por otro ya sea igual o menor, pero de alta eficiencia.

Se evalúan también, la disminución en demanda y consumo, y los ahorros respectivos, para con esto determinar el tiempo de amortización de la inversión necesaria, para dicha sustitución.

Por todo lo mencionado anteriormente, es indispensable hacer las siguientes mediciones en los motores para determinar la eficiencia actual a la que esta operando.

- Voltaje entre fases.
- Voltaje trifásico.
- Potencia demandada actual.
- Corriente por fase.

Una vez obtenidos los datos anteriores es posible determinar los factores que afectan a la eficiencia nominal determinando primeramente el desbalanceo de voltaje de la siguiente manera:

$$\text{DesbVolt} = \frac{\text{MDRVP}}{\text{VP}} \times 100$$

Donde:

DesbVolt = Desbalanceo de voltaje.  
MDRVP = Máxima diferencia respecto al voltaje promedio.  
VP = Voltaje promedio.

La máxima diferencia al voltaje promedio es el mayor valor obtenido de estas dos ecuaciones.

MDRVP = Voltaje Máximo - Voltaje Promedio.

MDRVP = Voltaje Promedio - Voltaje Mínimo.

Y la diferencia de voltaje sobre el nominal es:

$$\text{Diferencia de Voltaje} = \frac{\text{Voltaje Medido} - 1}{\text{Voltaje de placa}} \times 1000$$

El factor de carga se determina midiendo la potencia real entre la nominal debido a que es prácticamente imposible medir la potencia real entregada. El factor de carga se calcula dividiendo la potencia real demanda entre la potencia nominal demandada.

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Potencia Medida}}{\text{Potencia de placa / Eficiencia a plena carga}} \times 100$$

*Potencia Medida.*

Sin embargo la potencia nominal demandada hay que calcularla ya que la potencia nominal a la que se refieren los fabricantes de motores es la potencia que el motor puede entregar y no la demandada.

Sabemos que la potencia nominal entregada se ve afectada con relación a la demandada únicamente por la eficiencia.

La potencia nominal demandada será entonces:

$$\text{Potencia demandada} = \frac{\text{Potencia nominal entregada}}{\text{Eficiencia del motor}}$$

Por otro lado si se tienen dos valores de eficiencia del motor evaluado se puede calcular su eficiencia al factor de carga encontrado con las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned}L^{100\%} &= 0.746 * \text{HP} ((1/\text{efic. al } 100\% \text{ de carga})-1) \\L^{75\%} &= 0.746 * \text{h p} ((1/\text{efic. al } 75\% \text{ de carga})-1)\end{aligned}$$

Y si consideramos las pérdidas fijas como no han cambiando con las condiciones de carga, podemos establecer las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}L^{100\%} &= (\text{F.C al } 100\%)^2(a+b) \\L^{75\%} &= (\text{F.C al } 75\%)^2(a+b)\end{aligned}$$

Donde:

F.C. = factor de carga del motor.

F.C. al 100% = 1

F.C. al 75% = 0.75

a = Pérdidas variables.

b = Pérdidas fijas.

Por lo que substituyendo valores estas ecuaciones quedan:

$$\begin{aligned}L^{100\%} &= a + b \\L^{75\%} &= 0.5625(a + b)\end{aligned}$$

Y despejando las pérdidas variables

$$a = (L^{100\%} - L^{75\%}) / 0.4375$$

Mientras que despejando las pérdidas fijas, se tiene:

$$b = L^{100\%} - a$$

Y si ahora definimos como las pérdidas fijas por unidad de potencia (1 HP.) a plena carga tenemos

$$c = b/L^{100\%}$$

Ahora podemos obtener una formula para calcular las pérdidas L a cualquier condición de carga, como:

$$L = L^{100\%} (c + \text{FC}^2 (1 - c)) \text{ kW}$$

Por lo que ahora podemos calcular la eficiencia a la carga dada como:

$$\text{Eficiencia} = (\text{kW medidos} - L) / \text{kW medidos}$$

Evaluación de la sustitución de un motor estándar por uno de alta eficiencia.

*Costo de energía eléctrica.*

Costo por demanda (Cp)	51.415	\$/kW
Costo por energía (Ce)	0.38437	\$/kWh

Se puede obtener a partir del recibo de pago de energía eléctrica. Cargo por energía en \$/kWh, Cargo por potencia en \$/kW. Se tomarán los costos de energía de la Región Central, tarifa OM.

*Datos del motor estándar.*

Potencia	40 (HP)
Eficiencia	90.2 %
Reducción de eficiencia por rebobinado y vejez	3.0 %
Eficiencia ajustada (Estd)	87.5 %
Horas de Operación Anual (N)	6,000 hr/año

*Datos del motor de alta eficiencia con Sello FIDE.*

Potencia	40 (HP)
Eficiencia	93.0 %

*Potencia ahorrada*

$$\begin{aligned} P_a &= 0.746 \times C_p \times L \times (100/E_{std} - 100/E_{ae}) \\ &= 2.01 \text{ KW} \end{aligned}$$

Donde:

$P_a$	=	Ahorro en potencia
$C_p$	=	Caballos de potencia (HP)
$L$	=	Factor de carga
$E_{std}$	=	Eficiencia del motor estándar (%)
$E_{ae}$	=	Eficiencia del motor de alta eficiencia (%)

### Ahorros.

$$S = Pa \times (N \times Ce + n \times Cp) \\ = \$ 6,284.00$$

- S = Ahorro anual \$/año.  
N = Horas de operación al año.  
n = Números de períodos de facturación al año (12).  
Ce = Cargo por energía (\$/kWh).  
Cp = Cargo por demanda máxima (\$/Kw.).

### Período de Recuperación.

Costo:

- Motor estándar = \$10,385.00  
Motor alta eficiencia = \$12,863.00  
Incentivo = \$ 1,440.00

$$P.R. = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Ahorros Anuales}} = \frac{\$11,423.00}{\$6,284.00} = 1 \text{ año } 9 \text{ meses}$$

$$P.R. = \frac{\text{Diferencial de precio}}{\text{Ahorros Anuales}} = \frac{\$1,038.00}{\$6,284.00} = 2 \text{ meses}$$

Los costos de estos motores para el ejemplo fueron tomados de un costo promedio.

## 4.9 Análisis de un caso práctico

### DESCRIPCIÓN.

Sustitución de motores actuales del tipo estándar de un ventilador de la torre de enfriamiento por un motor de alta eficiencia de igual capacidad.

Tabla Resumen. Motor Ventilador Torre de Enfriamiento.

CONCEPTO	FACTOR
Disminución de la demanda en Kw.	2.53
Ahorro en \$/año por disminución en demanda	\$1,518
Disminución en consumo en kW/h	21.859
Ahorro económico en \$/año por consumo	\$6,607
Ahorro económico total \$/año	\$8,125
Costo de la implementación	\$15,975
Tiempo de recuperación en años	1.95

### *1. - ACCIÓN CONCRETA.*

Se propone el reemplazo motor estándar de 30 HP. W ventilador de la torre de enfriamiento, por un motor de 30 HP. Alta eficiencia.

### *2.-DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES.*

El motor del ventilador de la torre de enfriamiento, se encuentra trabando al 82% de carga, ha sido rebobinado 2 veces se encuentra trabajando con bajo voltaje, por lo que no opera a la eficiencia apropiada.

#### DATOS DE PLACA DEL MOTOR.

---

Motor Marca IEM de 30 h. p  
1772 r.p.m.  
220 Volts  
60 Hz  
82 Ampers  
Armazón 286T, factor de servido 1.15,  
eficiencia 88%

---

#### VALORES MEDIDOS.

Voltaje de alimentación (206/206/2047)	205.6 Volts
Corriente trifásica	71.9 A (73 469.7/72.28)
Potencia activa trifásica	20.97k
Factor de potencia trifásico	0.819
Distorsión armónica	3.09 %

#### OPERACIÓN.

Este motor opera de manera continua por lo que consideramos, 360 días, es decir, trabaja 8.640 horas al año

### *3.- BENEFICIOS ESPERADOS.*

Ahorro por consumos y demanda máxima.

## CÁLCULOS.

### A) Cálculo de Factor de Carga:

Parámetros actuales con motor estándar.

Demanda del motor medida: 20 97 kW  
Eficiencia del motor de Placa 88%  
Factor de carga 82.49%

$$F.C. = 20.97 / (30 \text{ HP.} \times 0.746 / \text{ef. } 0.88)$$

### B) Cálculo de La Diferencia de Voltaje

Dif. de Voltaje ((Voltaje Trifásico No Voltaje Nominal)-1) x100 =  
Dif. de Voltaje = ((205.6/ 220) -1) x 100 = 6.56%

### C) Cálculo del Desbalanceo de Voltaje.

% de desbalanceo de voltaje = ((Máxima diferencia al promedio Voltaje Promedio) x100 =

La máxima diferencia al promedio se calcula como:

Máx. Dif. = Voltaje Máximo - Voltaje Promedio ó Voltaje Promedio - Voltaje Mínimo,  
lo que resulte mayor.

Por lo que:

% Desb voltaje = ((206-205.6)/205.6) x100 = 0.0019X100 = 0.19%  
% Desb voltaje = ((205.6-204.7)/205.6) x100= 0.43%

Estos cálculos se muestran de manera manual, sin embargo pueden realizarse hojas de cálculo en Excel u otros paquetes similares y cargarse estas fórmulas para que calculen de manera más rápida todos estos valores.

### *AJUSTES DE EFICIENCIA*

Como se menciono con anterioridad, la base de la metodología de evaluaron es el ajuste de la eficiencia teórica, tomada de tablas de fabricantes, a la eficiencia real a la que se encuentran trabajando los motores

Estos ajustes principalmente son:

*Ajuste Por Factor de carga:*

De acuerdo con la gráfica del comportamiento de la carga de un motor típico, verificamos la eficiencia a la que trabaja el motor evaluado, por lo que de acuerdo con ella tenemos, que el motor se encuentra operando al 82.4%, es decir, el factor de ajuste es 1.

### *Ajuste por diferencia de voltaje*

Según la diferencia entre el voltaje de placa y el voltaje real de operación, existe también una disminución en la eficiencia, la que se calcula basándose en una curva de variación de eficiencia de acuerdo con la diferencia de voltaje.

Para el motor evaluado, y de acuerdo con la gráfica, tenemos:

Factor de ajuste 0.993

Ajuste por Desbalanceo de Voltaje:

Al igual que con la diferencia de voltaje, al existir desbalanceo de voltaje entre fases, existe una disminución de eficiencia, de acuerdo con la gráfica tenemos:

Factor de ajuste por desbalanceo de voltaje 0.99

Ajuste por Rebobinados:

Como el motor evaluado ya fue rebobinado 2 veces y se considera un factor de ajuste de 3% por cada rebobinado, tenemos que el factor de ajuste es de  $0.97 \times 0.97$ , es decir, 0.9409

Los valores de ajuste antes descritos, se utilizan tanto, para el motor actualmente instalado, como para el motor de alta eficiencia, d es que no se pueden corregir los valores de voltaje para estar más cerca de los nominales pero sin considerar el factor de ajuste por rebobinado, para el motor nuevo.

Por lo que considerando estos ajustes, se tiene

Eficiencia Ajustada = Eficiencia teórica (tablas) X factor de ajuste total

Si consideramos el factor de ajuste total, el valor de multiplicar cada factor de ajuste entre sí.

Factor de ajuste total = Factor de ajuste por factor de carga X factor de ajuste por dif. de voltaje X factor de ajuste por desbalanceo de voltaje X factor de ajuste, por rebobinados

Es decir,

Factor de ajuste total =  $1 \times 0.993 \times 0.99 \times 0.9409 = 0.9249$

Por lo que la eficiencia ajustada es

Eficiencia Ajustada =  $0.88\% \times 0.9249 = 81.39\%$

Por lo que la potencia en la flecha es de

$20.97 \text{ Kw.} \times 0.8139 = 17.06 \text{ Kw.}$



Por lo que para entregar 17.06 Kw. la potencia demandada es de 20.97 Kw.

Si ahora utilizamos un motor de alta eficiencia

La eficiencia de un motor de 30 h p. de alta eficiencia de iguales características al que se encuentra actualmente instalado, es de 94.1% a plena carga

Calculando la eficiencia ajustada tenemos

Eficiencia ajustada motor alta eficiencia =  $\text{efic. Teórica} \times \text{factor de ajuste total sin ajuste por rebobinado}$

Nota: Esto sólo si no se puede - hacer los cambios en el voltaje Efic. Ajustada del motor de alta eficiencia =  $94.1\% \times 0.983 = 0.925\%$

Por lo que para el caso del motor de alta eficiencia para entregar 17.05 Kw. requiere demandar:

Potencia demandada =  $\text{Potencia entregada} / \text{Eficiencia nueva ajustada}$

Potencia demandada =  $17.06 / 0.925 = 18.44 \text{ Kw.}$

Determinación de los Ahorros considerando tarifa HM región central agosto 1998

Por lo que el ahorro en demanda es de  $20.97 - 18.44 = 2.53 \text{ Kw.}$

Es decir ahorro en \$ al año =  $2.53 \times \$50 \times 12 \text{ meses} = \$1.518$

Mientras que el ahorro en consumo de:

$\text{Kwh.} = 2.53 \text{ Kw.} \times 8640 \text{ h/año} = 21,859.2 \text{ Kwh.}$

Mientras que:

Ahorro en kWh base =  $0.33 \times 21,859 = 7,213.57 \text{ kWh}$

Ahorro en \$ en base =  $7,213.57 \times 0.25 \text{ \$/kWh} = \$1,803$

Ahorro en kWh intermedia =  $0.576 \times 21,859 = 12,590 \text{ kWh}$

Ahorro en \$ en intermedia =  $12,590 \times \$0.3 \text{ kWh} = \$3,777$

Ahorro en kWh punta =  $0.094 \times 21,859 = 2,055 \text{ kWh}$

Ahorro en \$ en intermedia =  $2,055 \times \$0.50 \text{ kWh} = \$1,027$

*Ahorros Totales*

Ahorro total en consumo =  $\$1,803 + \$3,777 + \$1,027 = \$6,607$

Ahorro total por demanda =  $\$1,518$

**AHORRO TOTAL POR ESTE MOTOR = \$8,125**

#### 4.- MONTO DE LA INVERSIÓN

Para implementar esta medida de ahorro se requiere de la siguiente inversión

Costo del Motor de Alta eficiencia de 30 HP. 1,515 U.S.D.

Nota: debido a que se cuenta con personal de mantenimiento, no se considera gastos de instalación

Considerando una paridad de 10.5 \$ / dólar, tenemos:

Costo Total = 1,515 u.s.d. X 10.5 = \$15,507.50

#### 5.- PERÍODO DE AMORTIZACIÓN DE LA INVERSIÓN.

Por recuperación simple, tenemos:

Tiempo de retomo = Costo total / Ahorro anual

Tiempo de retomo = \$15,507.5 / \$8,125 = 1.95 años

#### 6.- CONTEXTO TÉCNICO.

Para realizar la implementación de esta medida no se requiere ajustes técnicos, ya que las bases de ambos motores son de iguales dimensiones, además cuenta con personal de mantenimiento, se considera que no existe inversión para la instalación.

	Porcentajes típicos de pérdidas en motores de inducción polifásicos de 4 polos	Factores que afectan a estas pérdidas
Pérdidas en el estator	35 a 40	Calibre del conductor del estator
Pérdidas en el rotor	15 a 20	Calibre conductor del rotor
Pérdidas en el núcleo	15 a 20	Tipo y cantidad del material magnético
Pérdidas por dispersión	10 a 15	Métodos de diseño y manufactura
Fricción en el aire	5 a 10	Selección y diseño de ventiladores y soportes

Tabla 4.9



## CONCLUSIONES.

En México el 72% de la energía eléctrica que se consume se obtiene mediante la utilización de combustibles fósiles, lo que provoca la emisión de contaminantes que contribuyen a sobrecalentar la atmósfera y a generar el efecto invernadero.

Todo apunta a que los medios de transporte para los próximos años funcionarán en base a la electricidad para obtener su locomoción. Por lo tanto los motores seleccionados deberán satisfacer requisitos mínimos de eficiencia y calidad, ya que de esta forma al tiempo que reducimos contaminantes evitamos la posible generación de energía reactiva que afecta directamente al sistema de generación eléctrica.

El concepto de ahorro de energía por el lado de la demanda se ha situado como una alternativa viable para racionalizar el consumo de energía y balancear la demanda con la oferta. Asimismo, la utilización de energía renovable ha registrado significativos incrementos en el plano internacional. Debido a los subsidios en países desarrollados, la capacidad de generación de electricidad a partir de viento ha crecido a una tasa anual promedio de 30 por ciento en los últimos tres años. A su vez, la tecnología relacionada a la generación de electricidad por procesos fotovoltaicos ha reducido su costo unitario de potencia en más de 20 veces desde 1973.

El costo inicial de un motor de alta eficiencia es mayor que el del estándar, dependiendo ligeramente del motor, su manufactura y la competencia en el mercado. Pero el gasto que representa en su tiempo de vida es más económico que el del motor estándar. Los motores de alta eficiencia cuentan además con ventiladores más eficientes por lo que se reduce la energía disipada en forma de calor. En general un motor de alta eficiencia es más redituable, ya que tiene pocas fallas en los devanados, más largos periodos de funcionamiento sin necesidad de mantenimiento y pocas veces se sacara de servicio.

El tener equipos de mayor eficiencia no sólo reduce el costo de operación, si no que al invertir en estos equipos se puede llegar a tener un ahorro económico a nivel industrial. Este ahorro se puede establecer a partir de realizar estudios de optimización y amortización de los costos que generaría el cambiar los equipos motrices.

Otras de los beneficios extras incluidos son que incluye extensos ciclos de lubricación, mejor tolerancia a el incremento de la temperatura, pocas fallas por operar en lugares mal ventilados y mayor resistencia a operaciones anormales como variaciones de voltaje o de frecuencia.

Generalmente para las industrias fabricantes de los motores los motores de pocas HP pasan por alto en la eficiencia. El porque se debe a que la industria generalmente usan motores de mayor potencia y los motores menores son prácticamente para fines domésticos, además se pueden mejorar muy poco este tipo de motores en cuestiones de eficiencia y resultaría un incremento en el costo para el usuario final. Pero si consideramos que en la gran mayoría de las casas son usados motores de baja potencia, ya sea para bombeo, o aire acondicionado y sumamos las pequeñas pérdidas obtenemos un valor bastante elevado, que en números nos podría redituár en grandes gastos a nivel consumidor y hasta nacional. Sería importantísimo que las industrias fabricantes de

estos motores enfoquen su desarrollo también a este tipo de motores para el ahorro y conservación del medio ambiente.

Por lo general, la instrumentación de proyectos de ahorro de energía eléctrica por el lado de la demanda requiere inversiones menores que las necesarias para incrementar la oferta, presentan alta rentabilidad, mejoran el desempeño de los equipos y sistemas donde se aplican, y reducen los impactos nocivos al medio ambiente.

La solución a estos problemas de contaminación es costosa como ya lo habíamos mencionado, pero ahora surge una polémica ¿Quién debe pagar estos costos? Todo apunta a que sea el consumidor, encareciéndose el costo de la energía eléctrica generada y como las industrias no desean pagar este incremento de costos, incrementan el precio de sus productos, siendo entonces el usuario final el más perjudicado, ya que paga estos incrementos en productos y además debe pagar también el costo de la energía eléctrica que también le afecta a él.

En resumen todo parece indicar que no se desarrollara un gran avance tecnológico, ya que los energéticos presentan pocas variaciones en su consumo y los recursos energéticos renovables no incrementan su uso.

Si tomamos en cuenta que la mayor demanda en la industria es en sus motores, vemos la necesidad de tener equipos de mayor eficiencia e instalaciones adecuadas que permitan que el pico de demanda disminuya. Asimismo es necesario plantear la forma de recorrer el horario de operación de las industrias, ya que de esta forma el pico sería distribuido en horas no saturadas, reduciendo así la necesidad de meter en operación unidades extras de generación.

Pero si reflexionamos un poco veremos que aunque el ahorro no se sienta a nivel personal, es importante utilizarlo ya que nos ayuda a reducir la contaminación, a que se tenga una mayor inversión en infraestructura, a que se reduzca el gasto de recursos no renovables y a evitar la destrucción de la biodiversidad.



## CÁLCULO DE LA EFICIENCIA SEGÚN NORMAS MEXICANAS

Las normas mexicanas NOM-014 y NOM-016 indican el método a seguir para calcular la eficiencia en motores de inducción tipo jaula tanto monofásicos como trifásicos.

El método utilizado para calcular la eficiencia en motores trifásicos tipo jaula de ardilla de uso general en potencia nominal de 0.746 142.2 kW es el método de segregación de pérdidas. En este método se miden indirectamente las pérdidas indeterminadas pero se miden directamente las pérdidas por efecto joule en los devanados del estator y del rotor, las pérdidas en el núcleo, así como las pérdidas por fricción y ventilación.

Los instrumentos de medición son los siguientes:

- 1) Aparato para medir la temperatura detectada por los detectores de temperatura por resistencia o termopares;
- 2) óhmetro para medir resistencias bajas.
- 3) equipo para controlar la tensión de alimentación;
- 4) frecuencímetro;
- 5) voltímetros;
- 6) ampérmetros;
- 7) wáttmetro trifásico;
- 8) dinamómetro;
- 9) torsiómetro ó aparato para medir par torsional;
- 10) tacómetro; y
- 11) cronómetro;

Prueba y aplicaciones de las normas NOM en los motores.

Antes de comenzar las pruebas se deben registrar la temperatura y la resistencia óhmica de los devanados del estator. Para ello se deben instalar, dentro del motor, detectores de temperatura por resistencia o termopares, entre o sobre los cabezales del devanado, o en las ranuras del núcleo del estator, procurando que queden fuera de las trayectorias del aire de enfriamiento del motor.

*1. Parámetros iniciales*

Se miden las resistencias entre terminales de los devanados del estator y la temperatura correspondiente.

Se registran los siguientes parámetros:

- 1) Las resistencias entre terminales de los devanados del estator, en Ohms;
- 2) el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator  $t_j$ , en °C; y
- 3) la temperatura ambiente  $t_{aj}$ , en °C.

Se designa como resistencia de referencia  $R_j$ , a aquélla con el valor intermedio de las tres registradas. Por ejemplo, si:

$$R_{1-2} = 4,8 \Omega \quad R_{1-3} = 5,0 \Omega \quad R_{2-3} = 5,1 \Omega$$

entonces el valor de la resistencia de referencia será  $R_j = 5,0 \Omega$ .

## 2. Prueba para alcanzar el equilibrio térmico

Mediante esta prueba se determinan la resistencia y temperatura de los devanados del motor operando a carga plena.

Se hace funcionar el motor a su tensión eléctrica medida en sus terminales, frecuencia eléctrica y potencia nominales, hasta alcanzar el equilibrio térmico en todos los detectores de temperatura. Se desenergiza y se desconectan las terminales de línea del motor, se mide y registra la resistencia entre las terminales de la resistencia de referencia determinada en el inciso 1, en el tiempo especificado en la Tabla 6.

Potencia Nominal, en kW	Tiempo
37,5 o menor	30
Mayor de 37,5 a 150	90
mayor de 150	120

Tabla 6.- Tiempo al cual se debe realizar la medición de la resistencia de referencia de los devanados del estator. [s]

Si se excede el tiempo establecido en la Tabla 6, se traza una curva de enfriamiento basada en la resistencia entre el par de terminales de referencia, utilizando por lo menos 5 valores espaciados a intervalos de 60 s, para determinar la resistencia al tiempo de retardo especificado en la Tabla 6.

Se miden y registran:

- 1) La resistencia entre las terminales de referencia,  $R_f$ , en Ohms;
- 2) el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator,  $t_f$ , en °C;
- 3) la temperatura ambiente,  $t_{af}$ , en °C; y
- 4) el tiempo al que se midió o determinó la resistencia  $R_f$ , en s.

## 3. Prueba de funcionamiento

Al término de la prueba anterior, se hace funcionar el motor a su tensión eléctrica medida en sus terminales, frecuencia eléctrica y potencia nominales, hasta alcanzar nuevamente el equilibrio térmico. Se aplican en forma descendente dos valores de carga arriba de la potencia nominal, seleccionados adecuadamente para no dañar el motor y sin exceder del 150% de la misma; así como cuatro valores de carga espaciados aproximadamente iguales desde el 100% hasta el 25% de la potencia nominal.



Se miden y registran los siguientes parámetros para cada uno de los valores de carga:

- 1) el promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V;
- 2) la frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- 3) el promedio de las corrientes eléctricas de línea,  $I_m$ , en A;
- 4) la potencia de entrada,  $P_e$ , en kW
- 5) el par torsional del motor,  $T_m$ , en N·m;
- 6) la frecuencia de rotación,  $n_m$ , en  $\text{min}^{-1}$ ;
- 7) el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator para cada valor de carga,  $t_m$ , en °C; y
- 8) la temperatura ambiente para cada valor de carga,  $t_{am}$ , en °C.

#### 4. Carga mínima posible en el dinamómetro

Se ajusta el dinamómetro a su carga mínima y se opera el motor a su tensión eléctrica medida en sus terminales y frecuencia eléctrica nominales hasta que la potencia de entrada no varíe más del 3% en un lapso de 30 minutos.

Con la potencia de entrada estabilizada a la carga mínima del dinamómetro, se miden y registran:

- 1) El promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V
- 2) la frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- 3) el promedio de las corrientes eléctricas de línea,  $I_{m\text{mín}}$ , en A;
- 4) la potencia de entrada,  $P_{m\text{mín}}$ , en kW;
- 5) el par torsional del motor,  $T_{m\text{mín}}$ , en N·m;
- 6) la frecuencia de rotación,  $n_{m\text{mín}}$ , en  $\text{min}^{-1}$ ;
- 7) el promedio de las temperaturas detectadas por los detectores de temperatura de los devanados,  $t_{m\text{mín}}$ , en °C; y
- 8) Se verifica que la potencia de salida  $P_d$  demandada al motor bajo prueba, sea menor al 15% de su potencia nominal. Donde  $P_d$  en kW, se calcula de la siguiente forma:

$$P_d = \frac{T_{m\text{mín}} \cdot n_{m\text{mín}}}{9549} \text{ [kW]}$$

### 5. Prueba de operación en vacío

Se desacopla el motor del dinamómetro y se opera en vacío a su tensión eléctrica medida en las terminales del motor y frecuencia eléctrica nominales hasta que la potencia de entrada varíe no más del 3% en un lapso de 30 minutos. Se aplican en forma descendente tres o más valores de tensión eléctrica entre el 125% y el 60% de la tensión eléctrica nominal, espaciados en forma regular; de la misma manera, tres o más valores entre el 50% y el 20% de la tensión eléctrica nominal o hasta donde la corriente eléctrica de línea llegue a un mínimo o se haga inestable.

Para cada valor de tensión eléctrica, se miden y registran:

- 1) el promedio de las tensiones eléctricas entre terminales, en V;
- 2) la frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- 3) el promedio de las corrientes eléctricas de línea,  $I_0$ , en A;
- 4) la potencia de entrada en vacío,  $P_0$ , en kW;
- 5) la frecuencia de rotación,  $n_0$ , en  $\text{min}^{-1}$ ; y
- 6) el promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator en cada valor de tensión,  $t_0$ , en °C.

Después de haber obtenido todos los datos anteriores se dispone a calcular las pérdidas por el método de segregación de pérdidas.

A) Determinación de las pérdidas por fricción y ventilación y cálculo de las pérdidas en el núcleo.

Los siguientes cálculos se utilizan para separar el origen de las pérdidas en vacío.

a) Se resta de la potencia de entrada medida en el inciso 5 en vacío,  $P_0$ , las pérdidas de los devanados del estator  $I^2 R_{E0}$  para cada valor de tensión eléctrica del inciso 5, calculadas con la siguiente ecuación:

$$I^2 R_{E0} = 0.0015 \cdot I_0^2 \cdot R_{E0} \text{ [kW]}$$

donde:

$I_0$  Es el promedio de las corrientes eléctricas de línea en vacío del inciso 5, en A; y  
 $R_{E0}$  es la resistencia entre las terminales de referencia, en ohms, del inciso 1, corregida al promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator para cada valor de tensión eléctrica, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$R_{E0} = R_i \frac{t_0 + k}{t_i + k} \quad [\Omega]$$

donde:

$R_i$  es la resistencia de referencia del inciso 1, en ohms;

$t_0$  es el promedio de las temperaturas de los devanados para cada valor de tensión el inciso 5, en °C;

$t_i$  es el promedio de las temperaturas de los devanados del estator en frío del inciso 1, en °C; y

$K$  es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, deberá usarse el valor especificado por el fabricante del material.

b) Se traza una curva con la potencia de entrada con el motor operando en vacío  $P_0$  menos las pérdidas en los devanados del estator  $I^2 R_{E0}$  contra la tensión eléctrica en vacío, para cada valor de tensión eléctrica entre el 125% y el 60% del valor nominal.

c) Se traza una curva con los valores de potencia de entrada en vacío  $P_0$  menos las pérdidas en los devanados del estator  $I^2 R_{E0}$ , contra el cuadrado de la tensión eléctrica, para cada valor de tensión eléctrica entre el 50% y el 20% del valor nominal o hasta el valor correspondiente a la corriente eléctrica de línea mínima o inestable. Se extrapola la curva a la tensión eléctrica en vacío igual a cero. El valor de la potencia de entrada en este punto corresponde a las pérdidas por fricción y ventilación  $P_{fv}$ .

d) De la curva obtenida en el inciso (b), se calculan las pérdidas del núcleo,  $P_h$ , a la tensión eléctrica nominal, restando de la potencia de entrada en vacío,  $P_0$ , las pérdidas en los devanados del estator  $I^2 R_{E0}$  según el inciso (a), y las pérdidas de fricción y ventilación  $P_{fv}$  según el inciso (c).

B) Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el estator.

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator  $I^2 R_m$  para cada uno de los seis valores de carga aplicados según el inciso 3, utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2 R_m = 0.0015 * I_m^2 * R_m \quad [kW]$$

donde:

$I_m$  es el promedio de las corrientes de línea del inciso 3, en A;

$R_m$  es la resistencia entre las terminales de referencia del estator, inciso 1, corregida a la temperatura de los devanados para cada valor de carga mediante la siguiente ecuación:

$$R_m = R_i \frac{t_m + k}{t_i + k} \quad [\Omega]$$

donde:

$R_i$  es la resistencia de referencia del inciso 1, en ohms;

$t_m$  es el promedio de las temperaturas de los devanados por cada valor de carga del inciso 3, en °C;

$t_i$  es el promedio de las temperaturas de los devanados del estator del inciso 1, en °C;

y

$k$  es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, deberá usarse el valor especificado por el fabricante.

C) Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el rotor

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor  $I^2 R_r$ , en cada uno de los seis valores de carga aplicados según el inciso 3 utilizando la siguiente ecuación:

$$I^2 R_r = (P_e - I^2 R_m - P_h) * S_m \quad [\text{kW}]$$

donde:

$P_e$  es la potencia de entrada para cada valor de carga medida en el inciso 3

$P_h$  son las pérdidas del núcleo calculadas en el inciso A)

$S_m$  es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de rotación síncrona  $n_s$  para cada valor de carga, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{n_s - n_m}{n_s}$$

donde:

$n_s$  es la frecuencia de rotación síncrona en  $\text{min}^{-1}$ ; y

$n_m$  es la frecuencia de rotación para cada valor de carga medida en el inciso 3 en  $\text{min}^{-1}$ .

D) Cálculo del Factor de Corrección del Dinamómetro

Con las mediciones realizadas en el inciso 4 y 5, se calcula:

a) El deslizamiento por unidad de frecuencia de rotación síncrona con el dinamómetro a su carga mínima de acuerdo con la siguiente ecuación ( $S_{\text{mín}}$ ):

$$S_{\min} = \frac{n_s - n_{\min}}{n_s}$$

donde:

$n_s$  es la frecuencia de rotación síncrona, en  $\text{min}^{-1}$ ; y

$n_{\min}$  es la frecuencia de rotación con el dinamómetro a su carga mínima medida en el inciso 4, en  $\text{min}^{-1}$ .

b) Las pérdidas por efecto Joule en el estator con el dinamómetro a su carga mínima:

$$I^2 R_{\min} = 0,0015 \cdot I_{\min}^2 \cdot R_{\min} \quad [\text{kW}]$$

donde:

$I_{\min}$  es el promedio de las corrientes de línea durante la prueba con carga mínima en el dinamómetro del inciso 4, en A; y

$R_{\min}$  es la resistencia de referencia corregida a la temperatura de los devanados del estator durante la prueba con carga mínima en el dinamómetro, calculada mediante la siguiente ecuación:

$$R_{\min} = R_i \frac{t_{\min} + k}{t_i + k} \quad [\Omega]$$

donde:

$R_i$  es la resistencia de referencia del inciso 1, en ohms;

$t_{\min}$  es el promedio de las temperaturas de los devanados del estator con el dinamómetro a su mínima carga del inciso 4, en  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_i$  es el promedio de las temperaturas de los devanados del estator del inciso 1, en  $^{\circ}\text{C}$ ;

y

$K$  es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, deberá usarse el valor especificado por el fabricante del material.

El factor de corrección del dinamómetro:

$$\text{FCD} = \frac{9549}{n_{\min}} [(P_{\min} - I^2 R_{\min} - P_n)(1 - S_{\min})] - \frac{9549}{n_o} [P_o - I^2 R_{EO} - P_n] - T_{\min} \quad [\text{Nm}]$$

donde:

$P_{\min}$  es la potencia de entrada con el dinamómetro a su carga mínima, medida en el inciso 4, en kW

$P_n$  son las pérdidas en el núcleo calculadas en el inciso A) en kW

$P_o - I^2 R_{Eo}$  es calculado en el inciso A) a), en kW

$T_{min}$  es el par torsional del motor con el dinamómetro a su carga mínima, medida en el inciso 4 en N·m

$n_o$  es la frecuencia de rotación en vacío, en  $min^{-1}$

E) Cálculo de la potencia de salida corregida

a) Se calculan los valores de par torsional corregido  $T_c$ , sumando el factor de corrección del dinamómetro FCD, a los valores de par medidos  $T_m$ .

b) Se calcula la potencia de salida corregida de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P_s = \frac{T_c \cdot n_m}{9549} \text{ [kW]}$$

donde:

$T_c$  es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, en N·m

$n_m$  es la frecuencia de rotación para cada valor de carga, en  $min^{-1}$

F) Cálculo de las pérdidas indeterminadas

Para calcular las pérdidas indeterminadas en cada uno de los seis valores de carga medidos en el inciso 9.3.3, se calcula la potencia residual  $P_{res}$  como sigue:

$$P_{res} = P_o - P_s - I^2 R_m - P_h - P_{fv} - I^2 R_r \text{ [kW]}$$

donde:

$P_o$  es la potencia de entrada para cada valor de carga medida en el inciso 3

$P_s$  potencia de salida corregida para cada punto de carga, en kW

$I^2 R_m$  pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator para cada punto de carga, en kW

$P_h$  pérdidas en el núcleo, en kW

$P_{fv}$  pérdidas por fricción y ventilación, en kW

$I^2 R_r$  pérdidas por efecto joule en el devanado del rotor para cada punto de carga, en kW

Para suavizar la curva de potencia residual,  $P_{res}$ , contra el cuadrado del par torsional,  $T_c^2$ , para cada valor de carga, se usa el análisis de regresión lineal

$$P_{res} = AT_c^2 + B \text{ [kW]}$$

donde:

$T_c$  es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el inciso E) (a), en N·m;

A es la pendiente de la recta para el análisis de regresión lineal; y

B es la intersección de la recta con el eje de las ordenadas

Si el coeficiente de correlación  $\gamma$  es menor que 0,9, se elimina el peor punto y se calculan nuevamente A y B. Si el valor de  $\gamma$  se incrementa hasta hacerlo mayor que 0,9, se usa el segundo cálculo. En caso contrario, la prueba no fue satisfactoria, indicando errores en la instrumentación, de lectura o ambos. Se debe investigar la fuente de estos errores y corregirse, para posteriormente repetir las pruebas. Cuando el valor de A se establece conforme al párrafo anterior, se pueden calcular las pérdidas indeterminadas para cada uno de los valores de carga del inciso 3 de la siguiente forma:

$$P_{ind} = AT_c^2 \text{ [kW]}$$

donde:

$T_c$  es el par torsional corregido del motor para cada valor de carga, calculado en el inciso E) (a), en N·m; y

A es la pendiente de la recta

#### G) Cálculo de la pérdidas por efecto Joule en el estator corregidas por temperatura

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator corregidas de la temperatura ambiente  $t_{af}$ , medida en el inciso 2, a la temperatura ambiente de 25 °C, para cada uno de los seis valores de carga medidos en el inciso 3, usando la siguiente ecuación:

$$I^2R_{mc} = 0.0015 * I_m^2 * R_{mc} \text{ [kW]}$$

donde:

$I_m$  es el promedio de las corrientes de línea para cada valor de carga del inciso 3, en A;

$R_{mc}$  es la resistencia de referencia  $R_f$  del inciso 2, corregida a una temperatura ambiente de 25 °C de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_{mc} = R_f \frac{t_c + K}{t_{af} + K} \text{ [}\Omega\text{]}$$

donde:

$t_c$  promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator,  $t_f$ , del inciso 2, corregida a una temperatura ambiente de 25 °C ( $t_c = t_f + 25 \text{ }^\circ\text{C} - t_{af}$ ), en °C

$t_{af}$  es la temperatura ambiente durante la prueba de equilibrio térmico a plena carga del inciso 2, en °C

K es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, deberá usarse el valor especificado por el fabricante del material.

#### H) Cálculo de las pérdidas por efecto Joule en el rotor corregidas por temperatura

Se calculan las pérdidas por efecto Joule en los devanados del rotor, corregidas de la temperatura ambiente  $t_{af}$ , medida en el inciso 2, a la temperatura ambiente de 25 °C, para cada uno de los seis valores de carga medidos en el inciso 3, usando la siguiente ecuación:

$$I^2 R_{rc} = (P_e - I^2 R_{mc} - P_h) S_{mc} \text{ [kW]}$$

donde:

$$S_{mc} = S_m \frac{t_c + K}{t_m + K}$$

donde:

$S_{mc}$  es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de rotación síncrona, referido a una temperatura ambiente de 25 °C;

$S_m$  es el deslizamiento en por unidad de la frecuencia de rotación síncrona medida en el inciso 3 y calculado en el inciso C);

$t_m$  es el promedio de las temperaturas de los devanados por cada valor de carga del inciso 3, en °C;

$t_c$  promedio de las temperaturas detectadas en los devanados del estator,  $t_f$  medida en el inciso 2, corregida a una temperatura ambiente de 25 °C ( $t_c = t_f + 25 \text{ °C} - t_{af}$ ), en °C

$t_{af}$  es la temperatura ambiente durante la prueba de equilibrio térmico a plena carga del inciso 2, en °C

K es la constante del material y es igual a 234,5 para el cobre puro. Para otros materiales en los devanados, deberá usarse el valor especificado por el fabricante del material.

#### I) Cálculo de la potencia de salida a 25 °C

Se calcula la potencia de salida corregida a la temperatura ambiente de 25 °C, para cada uno de los seis valores de carga del inciso 3 usando la siguiente ecuación:

$$P_{sc} = P_e - P_h - P_{fv} - P_{ind} - I^2 R_{mc} - I^2 R_{rc} \text{ [kW]}$$



donde:

$P_{sc}$  potencia de salida corregida para cada punto de carga, referido a una temperatura ambiente de 25 °C, en kW

$P_e$  es la potencia de entrada para cada valor de carga medida en el inciso 3

$P_h$  pérdidas en el núcleo, en kW

$P_{fv}$  pérdidas por fricción y ventilación, en kW

$P_{ind}$  pérdidas indeterminadas, en kW

$I^2 R_{mc}$  pérdidas por efecto Joule en los devanados del estator para cada punto de carga, referidas a una temperatura ambiente de 25 °C, en kW

$I^2 R_{rc}$  pérdidas por efecto Joule en el devanado del rotor para cada punto de carga, referidas a una temperatura ambiente de 25 °C en kW

### J) Cálculo de la eficiencia

Se calcula la eficiencia  $\eta_m$  para cada uno de los seis valores de carga del inciso 3 usando la siguiente ecuación:

$$\eta_m = \frac{P_{sc}}{P_e} \quad [\%]$$

donde:

$P_{sc}$  Potencia de salida corregida para cada punto de carga, referida a una temperatura ambiente de 25 °C, en kW

$P_e$  Potencia de entrada para cada valor de carga, en kW

### K) Eficiencia en cualquier punto de carga

Para determinar la eficiencia en algún valor preciso de carga, se traza una curva con la eficiencia calculada según el inciso J) contra la potencia de salida corregida calculada en el inciso I).

### L) MARCADO

La información mínima que se debe marcar en la placa de datos del motor es:

- La marca, modelo, tipo de enclaustramiento y si el motor es de eficiencia alta;
- La eficiencia nominal precedida del símbolo " $\eta$ ";
- La potencia nominal en kW;
- La tensión eléctrica en V;
- La frecuencia eléctrica en Hz; y
- La frecuencia de rotación en  $\text{min}^{-1}$ .

Además de la información especificada por otras Normas Oficiales Mexicanas vigentes que sean aplicables.

En lo que respecta a los motores monofásicos, la eficiencia en ellos es medida por el método de medición directa de las potencias de entrada y salida del motor operando a plena carga.

La eficiencia nominal marcada por el fabricante en la placa de datos del motor, debe ser igual o mayor que el valor correspondiente de la Tabla 2.

Potencia nominal, kW		Tensión eléctrica nominal, V		
Mayor o igual a	Menor que	115	127	200 a 240
0,180	0,249	50,5	48,0	48,0
0,249	0,295	52,5	50,5	50,5
0,295	0,373	55,0	52,5	52,5
0,373	0,475	57,5	55,0	55,0
0,475	0,560	59,5	57,5	57,5
0,560	0,746	62,0	59,5	59,5
0,746	0,885	64,0	62,0	62,0
0,885	1,119	66,0	64,0	64,0
1,119	1,290	68,0	66,0	66,0
1,290	1,492	70,0	68,0	68,0
1,492	1,500	72,0	70,0	70,0

TABLA 2.- Eficiencia nominal para motores monofásicos de inducción tipo jaula de ardilla (en por ciento)

#### Condiciones de la prueba

La frecuencia eléctrica de alimentación para la prueba debe ser de 60 Hz  $\pm$  0,8%.

Las magnitudes eléctricas que varíen senoidalmente en el tiempo deben expresarse en valores eficaces, a menos que se especifique otra cosa.

La tensión eléctrica de alimentación de corriente alterna para la prueba se indica en la Tabla 3 y debe mantenerse dentro de una variación de  $\pm$ 1%. El factor de desviación de la onda de tensión eléctrica no debe ser mayor o igual del 10%

Indicación nominal en la placa de datos	Tensión eléctrica de prueba	
Única de hasta	115	115
	127	127
Múltiple con valor menor de hasta	115	115
	127	127
Única desde 200 hasta 240	220	

TABLA 3.- Tensión eléctrica para las pruebas[V]

Los instrumentos de medición, equipos y aparatos para aplicar este método de prueba son los siguientes:

- 1) aparato para medir la temperatura detectada por los detectores de temperatura por resistencia o termopares;
- 2) equipo para controlar la tensión de alimentación;
- 3) frecuencímetro;
- 4) voltímetro;
- 5) wáttmetro monofásico;
- 6) dinamómetro;
- 7) torsiómetro o aparato para medir el par torsional;
- 8) tacómetro, y
- 9) cronómetro.

#### *Procedimiento de prueba*

Antes de iniciar las pruebas se deben colocar tres detectores de temperatura por resistencia o termopares en los devanados o superficies accesibles, mediante los cuales se detectará el equilibrio térmico durante la prueba de funcionamiento a carga nominal. Cada detector se debe instalar en forma tal que quede protegido contra corrientes de aire de enfriamiento, y debe permanecer firme en su posición durante toda la prueba.

#### *A) Prueba de funcionamiento*

Se hace funcionar el motor a su potencia nominal, a la tensión eléctrica medida en sus terminales y frecuencia eléctrica de prueba, hasta alcanzar el equilibrio térmico en los tres puntos de medición de temperatura.

Se miden y registran:

- 1) la tensión eléctrica de alimentación en las terminales del motor, en V;
- 2) la frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- 3) la potencia de entrada  $P_e$ , en kW;
- 4) el par torsional en el eje del motor  $T_m$ , en N·m, y
- 5) la frecuencia de rotación  $n_m$ , en min<sup>-1</sup>.

#### *B) Carga mínima posible en el dinamómetro*

Se ajusta el dinamómetro a su carga mínima y se opera el motor a su tensión eléctrica medida en sus terminales y frecuencia eléctrica de prueba hasta que la potencia de entrada varíe no más del 3% en un lapso de 30 minutos.

Con la potencia de entrada estabilizada a la carga mínima del dinamómetro se miden y registran:

- 1) la tensión eléctrica de alimentación en las terminales del motor, en V;
- 2) la frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- 3) la potencia de entrada  $P_{mín}$ , en kW;
- 4) el par torsional en el eje del motor  $T_{mín}$ , en N·m;
- 5) la frecuencia de rotación  $n_{mín}$ , en min<sup>-1</sup>, y
- 6) se verifica que la potencia de salida  $P_d$  demandada al motor bajo prueba, sea menor al 15% de su potencia nominal. Donde  $P_d$  en kW, se calcula de la siguiente forma:

$$P_d = \frac{T_{mín} \cdot n_{mín}}{9549} \text{ [kW]}$$

### C) Prueba de operación en vacío

Se desacopla el motor del dinamómetro y se opera en vacío a la tensión eléctrica medida en sus terminales y frecuencia eléctrica de prueba hasta que la potencia de entrada varíe no más del 3% en un lapso de 30 minutos.

Con la potencia de entrada estabilizada, se miden y registran:

- 1) la tensión eléctrica de alimentación en las terminales del motor, en V;
- 2) la frecuencia eléctrica de alimentación, en Hz;
- 3) la potencia de entrada  $P_0$ , en kW, y
- 4) la frecuencia de rotación  $n_0$ , en min<sup>-1</sup>.

### D) Cálculo del Factor de Corrección del Dinamómetro (FCD)

Con las mediciones realizadas en los incisos B) y C), se calcula:

a) El deslizamiento  $S_{mín}$ :

$$S_{mín} = \frac{n_s - n_{mín}}{n_s}$$

donde:

$n_s$  es la frecuencia de rotación síncrona, en min<sup>-1</sup>, y

$n_{mín}$  es la frecuencia de rotación con el dinamómetro a su carga mínima medida en el inciso B), en min<sup>-1</sup>.

b) Se calcula el factor de corrección del dinamómetro (FCD), mediante la siguiente fórmula:

$$FCD = \frac{9549}{n_{mín}} [P_{mín} (1 - S_{mín})] - \frac{9549}{n_0} [P_0] - T_{mín} \text{ [Nm]}$$

donde:

$n_{mín}$  es la frecuencia de rotación con el dinamómetro a su carga mínima medida en el inciso B), en min<sup>-1</sup>.

- $n_0$  es la frecuencia de rotación en vacío medida en el inciso C), en  $\text{min}^{-1}$ .  
 $P_{\text{mín}}$  potencia de entrada con el dinamómetro a su carga mínima medida en el inciso B), en kW.  
 $P_0$  potencia de entrada con el motor operando en vacío, medida en el inciso C), en kW.  
 $T_{\text{mín}}$  par torsional medido en el eje del motor con el dinamómetro a su carga mínima, según inciso B), en N·m

#### E) Cálculo de la potencia de salida corregida

Se calcula la potencia de salida corregida  $P_s$ , en kW, mediante la siguiente fórmula:

$$P_s = \frac{(T_m + \text{FCD}) \cdot n_m}{9\,549} \quad [\text{kW}]$$

Donde:

- FCD Factor de corrección del dinamómetro calculado en el inciso D), en  $\text{N} \cdot \text{m}$   
 $T_m$  es el par torsional medido en el eje del motor a su potencia nominal, en el inciso A) en  $\text{N} \cdot \text{m}$   
 $n_m$  frecuencia de rotación medida a la potencia nominal en el inciso A), en  $\text{min}^{-1}$

#### F) Cálculo de la eficiencia

Se calcula la eficiencia  $\eta_m$  del motor a su potencia nominal utilizando la fórmula siguiente:

$$\eta_m = \frac{P_s}{P_e} \cdot 100 \quad [\%]$$

Donde:

- $P_e$  Potencia de entrada a la potencia nominal medida en el inciso A), en kW.  
 $P_s$  potencia de salida corregida a la potencia nominal, calculada en el inciso E), en kW.

#### G) Marcado

La información mínima que se debe marcar en la placa de datos del motor es:

- la marca, modelo, tipo de enclaustramiento, y tipo de arranque del motor;
- la eficiencia nominal precedida del símbolo " $\eta$ ";
- la potencia nominal en kW;
- la tensión eléctrica nominal en V;
- la frecuencia eléctrica en Hz, y
- la frecuencia de rotación en  $\text{min}^{-1}$ .

Además de la información especificada por otras normas oficiales mexicanas vigentes que sean aplicables.

Los motores certificados en el cumplimiento de esta Norma, podrán ostentar la contraseña del organismo certificador dentro o fuera de la placa de datos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Pablo Vargas Prudente, *Ahorro de Energía en Motores Eléctricos*, México D.F., Instituto Politécnico Nacional, 1996.
- Leander W. Matsch, *Máquinas Electromagnéticas y Electromecánicas*, México D.F., Alfaomega, 1994
- Orlando Silvio Lobosco, *Selección y aplicación de motores eléctricos*, Barcelona, Editorial Marcombo, 1989.
- Diego Enésimo Becerril L., *Instalaciones Eléctricas Prácticas*, México D.F., Instituto Politécnico Nacional, 1993.
- Secretaría de Energía (2001), *Prospectiva del Sector Eléctrico 2001 – 2010*, México D.F.
- Secretaría de Energía (1999), *Propuesta de Cambio Estructural de la Industria Eléctrica en México*, México D.F.
- Secretaría de Energía (2000), *Balance Nacional de Energía 1999*, México D.F.
- Secretaría de Energía (2000), *Prospectiva del Sector Eléctrico 2000-2009*, México D.F.
- Secretaría de Energía (2001), *Balance Nacional de Energía 200*, México D.F.
- Secretaría de Energía (1999), *Agenda Estadística del Sector Energético 1993 – 1998*, México D.F.
- Secretaría de Energía (1999), *Horario de Verano: Por una cultura del cuidado de la energía 1996 - 1999*, México D.F.
- Secretaría de Energía (2000), *El Sector Energía en México Análisis y Prospektiva*, México D.F.
- Secretaría de Energía (2001), *Programa Sectorial de Energía 2001 – 2006*, México D.F.

### Referencias electrónicas.

- |  |  |
|--|--|
| ▪ <a href="http://www.cfe.gob.mx">www.cfe.gob.mx</a>                 | Comisión Federal de Electricidad                   |
| ▪ <a href="http://www.fide.org.mx">www.fide.org.mx</a>               | Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.   |
| ▪ <a href="http://www.energia.gob.mx">www.energia.gob.mx</a>         | Secretaría de Energía                              |
| ▪ <a href="http://www.conae.gob.mx">www.conae.gob.mx</a>             | Comisión Nacional para el Ahorro de Energía        |
| ▪ <a href="http://www.inc.gob.mx">www.inc.gob.mx</a>                 | Instituto Nacional de Ecología                     |
| ▪ <a href="http://www.semarnat.gob.mx">www.semarnat.gob.mx</a>       | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. |
| ▪ <a href="http://www.procobremexico.com">www.procobremexico.com</a> | Procobre México.                                   |