

01129  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“FACTIBILIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA EN  
MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO

PRESENTAN:

GALLEGOS ARGÜELLO OSCAR

TOLEDO ALEJANDRO DOMINGO ALBERTO

DIRECTOR DE TESIS: ING. EDUARDO CARRANZA TORRES



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

CD. UNIVERSITARIA, MÉXICO, D. F. SEPTIEMBRE DE 2003.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

## DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS

### A MIS PADRES:

TERESA Y JOSÉ ALBERTO, POR HABERME DADO, COMO SIEMPRE, TODO LO NECESARIO PARA CONSEGUIR ESTE PASO TAN IMPORTANTE EN MI VIDA, PORQUE SIEMPRE CUENTO CON SU APOYO Y CONFIANZA, PERO SOBRE TODO POR EL AMOR QUE RECIBO DE ELLOS.

### A MIS HERMANOS:

CLAUDIA, ROBERTO Y DIANA, POR ESTAR AHÍ SIEMPRE, POR HACERME LOS MOMENTOS PESADOS MÁS LIGEROS, LLENANDO CON UN POCO DE ALEGRIA LOS MOMENTOS TRISTES Y POR FORMAR PARTE DE MI, COMO PERSONA.

### A VALERIA:

PORQUE LE DIO UN GIRO A MI FORMA DE VER LAS COSAS CONVIRTIÉNDOSE ASÍ EN PILAR IMPORTANTE DE MI CARRERA, POR HABERME AYUDADO EN TODO CUANDO LA NECESITE, POR HABER DEDICADO TANTO TIEMPO DE SU VIDA A MI LADO Y AL MISMO TIEMPO HABER SACRIFICADO MUCHAS COSAS POR QUE YO LLEGARA A ESTE MOMENTO.

### A SONIA:

POR SU APOYO MORAL, PRÁCTICO, MATERIAL Y SENTIMENTAL, POR CONTRIBUIR A UN CAMBIO DE MI PERSONALIDAD UN GRAN PASO HACIA ADELANTE, POR HACER QUE EL OBJETIVO DE ALCANZAR ESTE MOMENTO ESTUVIERA SIEMPRE EN MI MENTE Y POR DELANTE DE TODO, ALGUNAS VECES SIN SABERLO. PORQUE LAS ILUSIONES MUEVEN AL HOMBRE.

### A MI FAMILIA:

POR SER UNA BASE SÓLIDA PARA MIS ASPIRACIONES, POR SER UN IMPORTANTE APOYO EN MUCHOS ASPECTOS DE LA VIDA, PORQUE LA CONVIVENCIA FAMILIAR HACE MAS FUERTE EL ESPIRITU DE LUCHA, POR TENER PARA MI SIEMPRE ALGO BONITO QUE OFRECER.

**A MIS AMIGOS:**

POR DARME LA ACEPTACIÓN DE SER PARTE DE ELLOS. POR INTERESARSE DE MIS PROBLEMAS, POR IMPULSARME Y MOTIVARME A SEGUIR SIEMPRE ADELANTE, POR PREOCUPARSE DE MI SUPERACIÓN O SIMPLEMENTE POR COMPARTIR LOS RATOS LIBRES, PORQUE SON LAS PERSONAS QUE HAN DADO ALGO POSITIVO SIEMPRE A FAVOR DE ESTE OBJETIVO Y PORQUE SE QUE SIEMPRE ESTARÁN AHÍ CUANDO LOS NECESITE.

**AL ING. EDUARDO CARRANZA:**

POR HABER CREADO EN MI UN INTERES ESPECIAL EN LA ENERGÍA ELÉCTRICA CUANDO FUE MI PROFESOR Y POR SUS CONSEJOS, SUS INDICACIONES Y ATINADA DIRECCIÓN EN EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.

**A MIS PROFESORES:**

PORQUE AFORTUNADAMENTE FUERON MUCHOS DE ELLOS LOS QUE DEJARON EN MI UNA HUELLA DE CÓMO SON LAS COSAS INDEPENDIENTEMENTE DE SUS MATERIAS IMPARTIDAS.

**A LA U.N.A.M.**

PORQUE FUE MI CASA DURANTE CASI 10 AÑOS DÁNDOME LA OPORTUNIDAD DE CONOCER GENTE MUY VALIOSA, POR HABERME DADO UNA FORMACIÓN CRÍTICA, CONCIENTE Y CON UN FIRME CARÁCTER, OBTENIENDO DE ELLA OTRAS TANTAS SATISFACCIONES Y COMO TODO EN LA VIDA TAMBIÉN PASANDO MOMENTOS DIFÍCILES CON ELLA, AHORA TENGO UN ENORME ORGULLO DE SENTIR QUE MI CORAZÓN ES AZUL Y MI PIEL DORADA Y POR SIEMPRE PUEDO DECIR QUE:

POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>PRESENTACIÓN</b>  | 1  |
| <b>I INTRODUCCIÓN AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>            | 5  |
| <b>I.1 ANTECEDENTES</b>                                      | 5  |
| <b>I.2 IMPORTANCIA DEL AHORRO DE ENERGÍA</b>                 | 8  |
| I.2.1 CONCEPTOS DEL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA     |    |
| I.2.2 BENEFICIOS DEL AHORRO DE ENERGÍA                       |    |
| I.2.3 ASPECTOS AMBIENTALES DEL AHORRO DE ENERGÍA             | 16 |
| <b>I.3 AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO</b>             | 16 |
| I.3.1 PARTICIPACION GUBERNAMENTAL                            |    |
| I.3.2 AHORRO DE ENERGÍA EN LA EMPRESA                        |    |
| <b>II COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA</b>                      | 20 |
| <b>II.1 ANTECEDENTES</b>                                     | 20 |
| <b>II.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO</b>        | 20 |
| <b>II.3 TARIFAS</b>  | 23 |
| II.3.1 CONCEPTOS GENERALES                                   |    |
| II.3.2 TARIFAS VIGENTES EN MÉXICO                            |    |
| II.3.3 TARIFAS EN LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA               |    |
| <b>II.4 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO</b>                           | 30 |
| II.4.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN UN DIAGNOSTICO ENERGÉTICO |    |
| <b>III EL MOTOR DE INDUCCIÓN</b>                             | 35 |
| <b>III.1 ANTECEDENTES</b>                                    | 35 |
| <b>III.2 DEFINICIÓN DE MOTOR DE INDUCCIÓN</b>                | 35 |
| <b>III.3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN</b> | 36 |
| III.3.1 SISTEMA LINEAL                                       |    |
| III.3.2 SISTEMA GIRATORIO                                    |    |
| III.3.3 EL MOTOR DE INDUCCION                                |    |
| III.3.4 MOTOR DE INDUCCION TRIFÁSICO                         |    |
| III.3.5 MÁQUINAS MULTIPOLARES                                |    |
| <b>III.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN</b>      | 43 |
| III.4.1 VELOCIDAD SÍNCRONA                                   |    |
| III.4.2 DESLIZAMIENTO  |    |
| III.4.3 VELOCIDAD DEL ROTOR                                  |    |
| III.4.4 PAR  |    |
| III.4.5 MÍNIMA VELOCIDAD PERMITIDA                           |    |
| III.4.6 TEMPERATURA DE OPERACIÓN.                            |    |

|  |    |
|--|----|
| III.4.7 TIPO DE AISLAMIENTO.   |    |
| III.4.8 CORRIENTE DE LÍNEA   |    |
| III.4.9 POTENCIA MECANICA DE SALIDA  |    |
| III.4.10 POTENCIA, TENSIÓN Y FRECUENCIA NOMINALES                          |    |
| III.4.11 CORRIENTE NOMINAL   |    |
| III.4.12 EFICIENCIA  |    |
| III.4.13 PÉRDIDAS  |    |
| III.4.14 PAR DE ARRANQUE, PAR A PLENA CARGA Y PAR MÁXIMO                   |    |
| III.4.15 COMPORTAMIENTO PAR-VELOCIDAD-POTENCIA                             |    |
| III.4.16 PARTES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN                                     |    |
| III.5 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN                       | 53 |
| III.5.1 DISEÑO NEMA  |    |
| III.5.2 DISEÑOS ESPECIALES   |    |
| IV SELECCIÓN Y OPERACIÓN EFICIENTE Y FUNCIONAL DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN | 60 |
| IV.1 INTRODUCCIÓN  | 60 |
| IV.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN                       | 61 |
| IV.2.1 TIPO O SECUENCIA DE OPERACIÓN                                       |    |
| IV.3 CONTROL DE MOTORES DE INDUCCIÓN                                       | 66 |
| IV.3.1 PROPÓSITO DEL CONTROLADOR   |    |
| IV.3.2 ARRANQUE Y PARADA   |    |
| IV.3.3 ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN                                    |    |
| IV.3.4 INVERSIÓN DE LA ROTACIÓN  |    |
| IV.3.5 CONTROL DE LA VELOCIDAD   |    |
| IV.3.6 PROTECCIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN                                  |    |
| IV.3.7 SISTEMAS DE ARRANQUE Y CONTROL                                      |    |
| IV.3.8 CONTROL REMOTO Y AUTOMÁTICO   |    |
| IV.4 EFICIENCIA EN EL DESEMPEÑO DEL MOTOR                                  | 76 |
| IV.4.1 MEDICION DE LA EFICIENCIA DE UN MOTOR                               |    |
| IV.4.2 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DEL MOTOR                        |    |
| IV.5 CAMBIO DE HORARIO PARA LA OPERACIÓN DEL MOTOR                         | 81 |
| IV.5.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN   |    |
| IV.5.2 CASO PRÁCTICO   |    |
| IV.6 REUBICACIÓN DE MOTORES  | 83 |
| IV.6.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN   |    |
| IV.6.2 CASO PRÁCTICO   |    |
| IV.7 REPARACIÓN DE MOTORES   | 86 |
| IV.8 SOBREDIMENSIONAMIENTOS DE MOTORES                                     | 87 |
| IV.9 MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN                             | 89 |
| IV.9.1 QUE ES EL MANTENIMIENTO   |    |

- IV.9.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO
- IV.9.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO
- IV.9.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO
- IV.9.5 INSTALACIÓN DE MOTORES

|  |     |
|--|-----|
| <b>V OPORTUNIDADES DE AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES DE INDUCCIÓN</b>      | 95  |
| <b>V.1 INTRODUCCIÓN</b>  | 95  |
| <b>V.2 ESTIMACIONES DE AHORRO EN MOTORES DE INDUCCIÓN</b>                | 95  |
| V.2.1 POTENCIAL TÉCNICO  |     |
| V.2.2 POTENCIAL ECONÓMICO  |     |
| V.2.3 POTENCIAL DE MERCADO   |     |
| <b>V.3 MOTORES DE ALTA EFICIENCIA</b>                                    | 97  |
| V.3.1 INTRODUCCION   |     |
| V.3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR EFICIENTE                          |     |
| V.3.3 COMPORTAMIENTO DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA                       |     |
| V.3.4 ESTIMACIÓN DE AHORROS CON MOTORES EFICIENTES                       |     |
| V.3.5 CUANDO UTILIZAR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA                         |     |
| V.3.6 CASOS PRÁCTICOS APLICACIÓN EN MOTORES EFICIENTES                   |     |
| <b>V.4 VARIADOR DE VELOCIDAD</b>   | 117 |
| V.4.1 INTRODUCCIÓN   |     |
| V.4.2 TEORÍA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD                                   |     |
| V.4.3 PARTES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD                                 |     |
| V.4.4 TIPOS DE VARIADOR DE VELOCIDAD                                     |     |
| V.4.5 ARMÓNICAS  |     |
| V.4.6 APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD           |     |
| V.4.7 AHORRO DE ENERGÍA CON VARIADOR DE VELOCIDAD                        |     |
| V.4.8 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN CON UN VARIADOR DE VELOCIDAD |     |
| V.4.9 CASOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN DE VARIADOR DE VELOCIDAD             |     |
| <b>CONCLUSIONES</b>  | 137 |
| <b>ANEXOS</b>  | 139 |
| <b>GLOSARIO</b>  | 155 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | 158 |

## PRESENTACIÓN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### OBJETIVO:

*Exponer de manera práctica* el funcionamiento de los motores eléctricos de inducción tipo jaula de ardilla, así como *identificar y poner al alcance del empresario* de las pequeñas y medianas empresas los principales potenciales de ahorro de energía eléctrica en dichos motores además de darles a conocer los medios para llevarlos a cabo.

### DEFINICIÓN DEL PROBLEMA:

El problema del ahorro de energía en motores de inducción, en cuanto a contexto, se tiene como parte de un problema nacional respecto a ahorro de energía eléctrica. Al tener ahorro en estas máquinas se pretende principalmente un ahorro económico en las finanzas del sector industrial de pequeño y mediano tamaño que utilice métodos que lleven a un mejor aprovechamiento energético, lo cual impactará directamente en el desenvolvimiento técnico y competitivo de dichas empresas.

### ALCANCE:

Con este trabajo se pretende participar en el fomento de la cultura del ahorro de energía, mediante un análisis de la factibilidad de ahorrar energía eléctrica en los motores de inducción tipo jaula de ardilla, en las pequeñas y medianas empresas (PYMES).

Por medio del estudio de las tarifas de cobro eléctrico, del funcionamiento de los motores, técnicas específicas para ahorrar energía en estos equipos, disponibilidad y facilidad para llevarlas a cabo, gastos de inversión, beneficios en los gastos de operación, así como, ventajas y desventajas debidas a la aplicación de las estrategias de ahorro. Así mismo se presentará un caso práctico en el cual observaremos lo descrito anteriormente en forma ejemplar.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## JUSTIFICACIÓN:

Un importante aspecto de competitividad en cualquier sector económicamente productivo, es la energía eléctrica, lo cual implica que el tener el máximo aprovechamiento sobre este recurso.

Los motores de inducción tipo jaula de ardilla son la principal herramienta eléctrica en la industria en cuanto a conversión de energía se refiere. La aplicación de este tipo de motores en el sector industrial es tan amplia como se pueda imaginar, su uso principal esta en: elevadores, bandas transportadoras, maquinaria textil, impresoras, bombas de desplazamiento positivo y de émbolo, extrusoras, mezcladoras, compresores de émbolo, bombas centrífugas, ventiladores, agitadores, compresores axiales, bobinadoras, dobladoras, troqueladoras, etc. Esto nos muestra, que en cualquier industria en la que pensemos, y en la mayoría los hogares, existen motores de inducción.

Analizando el perfil de consumidores de energía a nivel nacional, el 70% de ellos son del tipo industrial; mientras en este sector, entre el 55% y 60% del consumo de energía, se debe a los motores eléctricos, en su gran mayoría de inducción con rotor de jaula de ardilla. Esto se debe a que su construcción es muy sencilla pero muy robusta, se adapta bien a marcha constante, tiene pocos componentes y sus costos de adquisición y mantenimiento no son muy elevados. Debido a estas ventajas dirigimos nuestro estudio en este tipo de motores.

En forma particular queremos enfocar nuestro estudio hacia aquellas empresas que entran en el rango de pequeña y mediana empresa, debido al abandono que la gran mayoría de estas empresas tiene hacia el aspecto de la operación de sus instalaciones y equipos eléctricos. En ocasiones no cuentan con el personal adecuado para la operación de equipo eléctrico de manera eficiente, y caen en el error de operar por el simple hecho de operar, sin tomar en consideración aspectos básicos que le acarrearía beneficios notables, con sólo seguirlos de forma adecuada.

Por otro lado, en el aspecto estricto de ahorro de energía por medio de programas de ahorro de energía o con el empleo de equipos especiales para tal efecto, se tiene la barrera económica de estos empresarios, pues el ahorro que se puede lograr nunca es más del 10% de la facturación eléctrica, y si consideramos un usuario de este tipo que pague \$20,000.00 al mes el ahorro máximo sería de \$2,000.00, lo cual comparado con el gasto de inversión que tiene que realizar, lleva casi siempre a la misma respuesta, "seguir operando a como de lugar". Esto no quiere decir que no exista beneficio, por supuesto lo hay, pero la inversión se ve amortizada en un periodo de entre 7 y 30 meses, y estas empresas no se pueden dar el lujo de dejar de contar con esa cantidad invertida.

En ninguna definición se puede pretender recoger todos los elementos que determinan que una empresa sea "pequeña" o "mediana", existen varios criterios para ubicar dentro de alguna de estas definiciones a las empresas, tales como, el consumo de energía, el valor del capital invertido, el volumen de producción o de ventas y el número de trabajadores que emplean.

En México la clasificación está basada en el número de personas empleadas, aunque no se puede evitar que sea inexacta la clasificación, en el Diario Oficial de la Federación de fecha 30 de marzo de 1999 se publicó la siguiente clasificación, signada por: Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Contraloría y Desarrollo Administrativo, Secretaría de Educación Pública (SEP), Secretaría de Desarrollo Social (SDS), Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Nacional Financiera (NAFIN) y el Banco Nacional de Comercio Exterior.

**DEFINICIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA  
EMPRESA SEGÚN EL DIARIO OFICIAL DE  
LA FEDERACIÓN**

| Estrato | Número de Trabajadores |             |             |
|---------|------------------------|-------------|-------------|
|         | Industria              | Comercio    | Servicio    |
| Micro   | Hasta 30               | Hasta 5     | Hasta 20    |
| Pequeña | De 31 a 100            | De 6 a 20   | De 21 a 50  |
| Mediana | De 101 a 500           | De 21 a 100 | De 51 a 100 |
| Grande  | Más de 500             | Más de 100  | Más de 100  |

Según un boletín oficial de la Secretaría de Economía publicado en el año 2000, se tienen 70,000 Empresas pequeñas y medianas inscritas en el "Registro del Sistema de Información Empresarial" de esta dependencia. Distribuidas de la siguiente manera:

**DISTRIBUCIÓN DE LAS EMPRESAS SEGÚN LA SECRETARÍA DE ECONOMÍA**

| TAMAÑO/SECTOR | INDUSTRIA  | COMERCIO   | SERVICIOS  | TOTAL       |
|---------------|------------|------------|------------|-------------|
| PEQUEÑA       | 15%        | 48%        | 13%        | 76%         |
| MEDIANA       | 8%         | 12%        | 4%         | 24%         |
| <b>TOTAL</b>  | <b>23%</b> | <b>60%</b> | <b>17%</b> | <b>100%</b> |

Además estos otros datos nos muestran algunos rasgos importantes.

**ASPECTOS INTERESANTES DE LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS PYMES,  
SEGÚN EL ÚLTIMO CENSO REALIZADO POR EL INSTITUTO NACIONAL DE  
ESTADÍSTICA GEOGRÁFICA E INFORMÁTICA (INEGI)**

| CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA      |                                | PORCENTAJE    | CASOS         |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| <b>TAMAÑO DE LA EMPRESA</b>        | Pequeña Empresa Industrial     | 16.8%         | 11,760        |
|                                    | Pequeña Empresa de Comercio    | 16.5%         | 11,550        |
|                                    | Pequeña Empresa de Servicios   | 16.5%         | 11,550        |
|                                    | Mediana Empresa Industrial     | 16.8%         | 11,760        |
|                                    | Mediana Empresa de Comercio    | 16.8%         | 11,760        |
|                                    | Mediana Empresa de Servicios   | 16.6%         | 11,620        |
| <b>SECTOR</b>                      | Industria                      | 33.5%         | 23,450        |
|                                    | Comercio                       | 33.3%         | 23,310        |
|                                    | Servicios                      | 33.3%         | 23,310        |
| <b>PERSONAL OCUPADO</b>            | Hasta 9                        | 5.2%          | 3,640         |
|                                    | De 10 a 24                     | 17.8%         | 12,460        |
|                                    | De 25 a 54                     | 34.0%         | 23,800        |
|                                    | De 54 o más                    | 43.0%         | 30,100        |
| <b>VENTAS</b>                      | Hasta \$3,000,000              | 26.8%         | 18,760        |
|                                    | De \$3,001,000 a \$12,000,000  | 25.4%         | 17,780        |
|                                    | De \$12,001,000 a \$30,000,000 | 22.4%         | 15,680        |
|                                    | De \$30,001,000 o más          | 25.4%         | 17,780        |
| <b>ACTIVIDAD EXPORTADORA(2001)</b> | Exportadoras                   | 21.2%         | 14,840        |
|                                    | No exportadoras                | 78.8%         | 55,160        |
| <b>ANTIGÜEDAD DE LA EMPRESA</b>    | Menos de 5 años                | 16.3%         | 11,410        |
|                                    | Entre 5 y 10 años              | 27.2%         | 19,040        |
|                                    | Entre 10 y 20 años             | 23.4%         | 16,380        |
|                                    | 20 años o más                  | 33.1%         | 23,170        |
| <b>TOTALES POR CATEGORÍA</b>       |                                | <b>100.0%</b> | <b>70,000</b> |

## RESULTADOS ESPERADOS

El siguiente trabajo pretende ser una guía práctica o manual, sin abandonar nunca el sustento científico, para la pequeña y mediana empresa, que sirva como referencia para cualquier persona que este relacionada con la operación y manejo de motores de inducción, abarcando desde la operación de equipo eléctrico de forma eficiente y sin necesidad de realizar un gasto extra, hasta la adquisición de equipo eléctrico eficiente y ahorrador que mejore la operación del sistema en general, y que además de significarse en ahorro de energía eléctrica, se vea reflejado en la mejora del sistema de producción de la empresa, pues contar con equipos eléctricos operados de forma correcta evita fallas y aumenta las cantidades producidas.

Se espera lograr una conciencia a favor del uso de técnicas ahorradoras de energía en el caso de motores de inducción en el sector industrial, debido a que se expondrán de forma práctica los ahorros económicos y la factibilidad para llevar a cabo este tipo de acciones, de la misma manera se pretende que este material sirva como base a estudiantes que pretendan introducirse al estudio de las máquinas eléctricas de inducción, ya que la utilización de estas en el medio productivo es fundamental, por lo que todo Ingeniero Eléctrico y carreras afines deben tener muy claro el funcionamiento de estos motores para lograr el mejor aprovechamiento de los recursos que vienen ligados a su operación.

En el caso práctico se espera ejemplificar la viabilidad de efectuar el ahorro de energía en los motores de inducción, en la industria, y obtener cifras alentadoras en cuanto a ahorro de capital en gastos de operación, lo cual traería consigo un incremento en el uso de métodos ahorradores.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO I



## INTRODUCCIÓN AHORRO DE ENERGÍA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

#### I.1 ANTECEDENTES

La energía es la fuerza que mueve al moderno mundo industrial; sin ella, nuestras fábricas se detendrían y economías enteras entrarían en crisis. Por eso es vital saber administrarla.

La energía como tal siempre ha estado presente en la vida de la humanidad y es precisamente su conocimiento y el grado de dominio sobre ella lo que ha distinguido al hombre sobre los demás seres vivos.

Por miles de años un modesto modo de dominio sobre las energías naturales tales como: El fuego, con que se calentaban y cocinaban los audaces humanos que en ese entonces lo conocieron por primera vez; El aire, que impulsaba primitivos navíos o el impulso de que dada el agua de los riachuelos con que se hacían funcionar los primeros molinos, en conjunto con los recursos obtenidos de la tierra, hicieron al hombre un ser distinto (No en vano en la Edad Media consideraban al fuego, al aire, al agua y a la tierra como elementos básicos de las fuerzas y la materia manifiesta en todas y cada una de sus diversas formas).

Sin embargo, al ser modesto ese dominio sobre las fuerzas naturales modesto también lo fue el impacto que el hombre causara sobre la naturaleza, sobre el medio ambiente global que lo envolvía. El hombre era muy distinto pero aún estaba ligado a ese cosmos terrestre.

En la medida que fue creciendo en número y en capacidad de dominio sobre las fuerzas de ese cosmos en que vivía, en esa misma medida su modo de vida estaba más ligado, por no decir atado, a la manera en que podía manejar su entorno natural. El dominio de la energía como medio de producción de bienes materiales y como medio de conservación de su propio estilo de vida se volvió el eje en que giraba toda actividad humana.

Hoy día pensar en un mundo sin energéticos, sin electricidad, sin automóviles, aviones o barcos que se desplacen gracias a la combustión de restos fósiles, sin fábricas ni comercios con grandes anuncios luminosos, es pensar en un mundo arcaico en uno que nunca hemos conocido. La historia de la humanidad ha sido en cierto modo la historia del dominio de los energéticos. Durante miles de años un modesto dominio sobre estos hicieron al hombre un modesto protagonista. Un frenético dominio sobre algunas fuerzas naturales trajeron también un frenético crecimiento de la humanidad.

Según el escritor Peter Atteslander si trasladamos los 250,000 años, que según algunos especialistas, ha vivido el hombre sobre el planeta a un lapso de una hora (250,000 años = 1 hora):

|           |      |  |
|-----------|------|--|
| 48.77     | Min. | hemos vivido en el paleolítico (81.3% de toda nuestra existencia).                                   |
| 5         | Min. | hemos vivido en el neolítico (cultivo de plantas, domesticación de animales, uso del arco y flecha). |
| 3.5       | Min. | hace que el hombre comenzó a trabajar el cobre.  |
| 2.5       | Min. | hace que el hombre comenzó a fundir el bronce.   |
| 0.15      | seg. | hace que inventó la imprenta.  |
| 0.05      | seg. | hace que comenzó la revolución industrial.   |
| 0.0103333 | seg. | hace que el hombre comenzó a usar la electricidad.   |
| 0.0100000 | seg. | hace que circuló el primer automóvil.  |
| 0.0010000 | seg. | Hace que explotó la primera bomba nuclear.   |
| 0.0000010 | seg. | Hace que el hombre piso la luna.   |
| 0.0000001 | seg. | Hace que el hombre comenzó a pensar en los límites del crecimiento del mundo.                        |

Según Alvin Toffler, ya no habremos de 250. 000 años desde que existe el hombre como ser biológico, pensemos en los últimos 50,000 años de historia de la humanidad en generaciones de 62 años cada una, es decir 800 generaciones en total, de las cuales las últimas 12 han creado todo lo que existe en el planeta y 2 han utilizado todos los bienes materiales con que contamos hoy, desde el más sencillo lápiz, la luz artificial con que nos iluminamos hasta la más sofisticada tecnología espacial. El 85% de los genios, de las personas que han hecho todos estos descubrimientos aún viven en esta generación.

Pero ¿dónde reside su grandeza?... La Física nos dice que la energía es la capacidad mayor o menor de realizar un trabajo o de producir un efecto. Cuando el viento empuja los veleros, en lugar de remar podemos descansar. Un radiador de gas al calentar nuestras casas en invierno provoca que tengamos que ingerir menos alimentos que contengan grasas necesarias para mantener nuestro cuerpo con una temperatura por arriba de la temperatura ambiente en esas épocas de frío. La electricidad prolonga la luz más allá del día y nos permite disfrutar de múltiples electrodomesticos y equipos electrónicos.

La pasmosa facilidad con que obtenemos un torrente de energía simplemente apretando un botón, nos hace olvidar la increíble complejidad del mundo de los energéticos y en especial el de la energía eléctrica.

La problemática energética del mundo radica en que la generación masiva de tales energéticos gira entorno del consumo de combustibles fósiles, que tiene innumerables implicaciones.

-SON ILIMITADOS E IRRENOVABLES

-GENERAN CONTAMINANTES

-SON OBJETO DE ESPECULACIÓN Y DE INSTRUMENTO POLÍTICO.

#### -LIMITES DE LA ENERGÍA FOSIL

El más simple y quizás el más drástico de los inconvenientes de la generación masiva de energía eléctrica en base a restos fósiles radica en que algún día se acabarán inevitablemente.

Por el momento no podemos desarrollar procesos químicos que emulen la delicada y paciente transformación de la materia orgánica en petróleo, pero si podemos dirigir su consumo hacia áreas del quehacer humano donde son irremplazables, y así aplazar su extinción mientras que desarrollamos dichos procesos o encontramos alguna fuente energética alterna que sea competitiva con la quema de combustibles fósiles.

## - GENERACIÓN DE CONTAMINANTES

cuando quemamos un kg. de carbón o de petróleo en pocos minutos estamos liberando unos elementos y energía que tardaron miles de años en acumularse y en transformarse. La inyección repentina, masiva, concentrada y constante de estos elementos ( óxidos de carbón, azufre, nitrógeno y plomo) en la biosfera, sobrepasa la capacidad de la naturaleza para reintegrarlos a ella misma en formas útiles y necesarias para la vida.

Las consecuencias de esto son tangibles:

- LLUVIA ACIDA.
- POLUCIÓN DIVERSA.
- INVERSIÓN TÉRMICA.
- EFECTO INVERNADERO.

Este lastre negativo asociado al consumo masivo de combustibles fósiles no es justificable, pero si se puede explicar de manera simple:

Nunca habíamos utilizado tanta energía como ahora y hasta hace poco nos hemos dado cuenta de sus efectos, además que se estima que en lo que va del siglo se ha gastado tanta energía como en toda la historia de la humanidad.

## - SON OBJETO DE ESPECULACIÓN Y DE INSTRUMENTO POLÍTICO.

La forma de gestionar la energía nunca ha sido una cuestión de equidad. Como todo bien material los energéticos han sido objeto de especulación y como medio de control político a lo largo de todo el orbe. Cada sociedad en distintas épocas de la historia le ha dado un enfoque particular a esta cuestión:

Los chinos usaban la pólvora para los fuegos artificiales, pero nunca para las armas; en la Roma imperial estaban prácticamente prohibidos los molinos hidráulicos para la molienda para no desestabilizar el mercado de esclavos; en la Edad Media se prohibieron estrictamente los molinos de viento, para que se emplearan los riachuelos donde se podía tener más control y mayor facilidad de cobrar impuestos según la cantidad de grano molido.

No sería nada sorprendente pensar que mientras exista el petróleo habrá un seductor y espectacular mercado de automóviles, aunque los imperios automovilísticos ya hayan desarrollado prototipos de automóviles 100% eléctricos alternativos a los actuales. Pero si de todos modos tarde o temprano se implementará un creciente mercado de automóviles eléctricos ¿Por qué no desarrollarlos ahora?... la respuesta es sencilla los autos eléctricos son mucho más caros que uno convencional, así que no tendrían cabida en el mercado actual, además de que reestructurar la industria automovilística sería tan costoso como hacer una nueva.

Por otro lado, en la actualidad la mayor parte de los energéticos se encuentran en los países subdesarrollados pero no así las reglas que regulan su comercio, hecho que remarca su vulnerabilidad y los exponen a los bloqueos, indignantes y diversas manipulaciones y hasta a invasiones armadas.

Aún dentro de estos países existen muy diversas implicaciones de tinte político muy particulares de cada país y de cada momento político; por ejemplo en México la electricidad de consumo doméstico está altamente subsidiada por el gobierno. Y decir "subsidiada" es un decir, ya que ese subsidio proviene de nuestros impuestos o bien de una indeseable deuda interna y una aplastante deuda externa.

El cambiar el actual esquema energético mundial tiene dos alternativas básicas.

- 1.- DESARROLLAR FUENTES DE ENERGÍA ALTERNAS A LAS ACTUALES.
- 2.- AHORRAR ENERGÍA EN TODAS SUS FORMAS.

### 1.-DESARROLLO DE FUENTES DE ENERGÍA ALTERNAS A LAS ACTUALES.

Las fuentes alternas de energía más prometedoras son:

- SOLAR
- EÓLICA
- MICROHIDROELÉCTRICA
- BIOMASA
- MAREMOTRIZ.

En este sentido cualquier acción de desarrollo de fuentes alternas, además de evitar las emisiones inherentes de la quema de los invaluable combustibles fósiles, favorecerá la no dependencia de estos últimos y fomentará tarde o temprano el abaratamiento y la equidad comercial de la energía, ya que estas fuentes de energía alternas, por lo general, se encuentran en todas las latitudes del orbe, lo que hace las exenta de manipulaciones políticas fomentando la autonomía de los pueblos.

Sin embargo tienen la desventaja principal de que son INTERMITENTES y un tanto ALEATORIAS.

### 2.- AHORRO DE ENERGÍA EN TODAS SUS FORMAS.

La optimización de la energía y los energéticos es una práctica que debe ser llevada a cabo en forma paralela al desarrollo de fuentes energéticas alternas anteriormente descritas.

Haciendo una analogía con el cuerpo humano, lo importante de llevar a cabo una dieta, no es bajar de peso momentáneamente, si no más bien dar los lineamientos para llevar una alimentación habitual sana, no se trata de comer menos, se trata de comer lo necesario y lo que mas nutra al organismo.

## 1.2 IMPORTANCIA DEL AHORRO DE ENERGÍA

A continuación veremos de una forma un poco más amplia a que se refiere los conceptos de "Ahorro y uso eficiente de energía Energía"

### 1.2.1 CONCEPTOS DEL AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

El ahorro energético es una actividad en la que esta cifrada la labor de miles de personas en el mundo entero.

El objetivo de este capítulo es dar a conocer tanto el concepto mismo, así como las posibilidades que puede ofrecer el ahorro energético tanto para los usuarios, las compañías suministradoras de energía

eléctrica, la economía de un país y el urgente remonte de las muy demeritadas condiciones ecológicas que imperan en el planeta.

### CONCEPTOS DEL USO EFICIENTE Y RACIONAL DE LA ENERGÍA

Para explicar estos dos conceptos nos apoyaremos en un ejemplo sencillo:

Supongamos tener una sala de juntas que solo es usada por 3 o 4 horas una vez a la semana, para la junta de los lunes. En ella existen 10 luminarias fluorescentes que en conjunto requieren 1,800 watts, de lunes a sábado y durante las 18 horas que se encuentra abierta la compañía las luces de esta sala se encuentran encendidas.

Suponemos que queremos que esta sala de juntas sea la muestra de las acciones que puede llevar a cabo un programa de ahorro energético.

Sabemos que la compañía XXX S.A. de C.V., firma de consultoría y distribuidor de lámparas y balastos ahorradores de energía, ofrece una serie de opciones en las cuales asegura poder hacer que la potencia demandada por los equipos de esta sala de juntas sea de 1,152 watts, lo que representa un ahorro del 36% respecto de la demanda habitual. Por último indican que sin cambiar sus costumbres de uso la inversión requerida con los ahorros obtenidos se puede amortizar en 12 meses.

Todo parece ser atractivo. Un ahorro energético de 36% con una recuperación de la inversión en 1 año.

Pero, hay algo que desde un principio suena mal. ¿por qué dejan las luces encendidas todo el tiempo si solo se usa la sala a lo más 4 horas a la semana...?

El uso eficiente de la energía se puede entender como el empleo de equipos que consuman un mínimo de energía y sean capaces de dar el mismo o mejor servicio que el proporcionado por un equipo convencional.

El uso racional de la energía se refiere a dar lo adecuado al usuario a cambio de un costo adecuado.

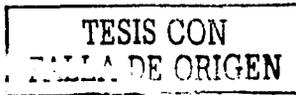
Por un lado tenemos que el empleo de equipos eficientes nos representa un ahorro energético y económico, que al usuario le puede ser de utilidad, pero el empleo, el cuidar la noción de costo-beneficio del uso de la energía eléctrica es a lo que se refiere el concepto de uso racional de la energía.

No importa que tan eficientes sean los nuevos equipos, el Watt y Kilowatt-hora más caro es aquel que se consume y no se aprovecha. Sin embargo, el ahorro de energía no debe de entenderse como el apagar todas las luces, las bombas, el aire acondicionado aún requiriéndose. No se debe de entender como el privar al usuario de la energía.

Ahora bien, en este momento hay que recordar que la calidad es la característica de un producto o servicio de darle al consumidor o usuario lo adecuado para satisfacer sus necesidades a cambio de una aportación adecuada por parte de este.

El dar lo mismo y aún más de lo que recibe el usuario, a un costo razonable, es el enfoque que se pretende dar a las sugerencias de un diagnóstico energético.

En resumen, debe ser muy estrecha la relación entre la eficiencia de los equipos y su costo, en conjunto con la racionalidad con que el usuario emplee la energía eléctrica, de tal forma que a fin de cuentas el usuario se beneficie con:





Un monto de inversión que pueda estar dentro de sus posibilidades de financiamiento.

Una atractiva reducción económica de la facturación eléctrica que se refleje en un adecuado tiempo de recuperación de la inversión.

Una conservación o incluso mejoramiento de los beneficios que aportaban anteriormente el equipo convencional (calidad de los servicios recibidos).

Debe de entenderse como confort todas aquellas condiciones que procuran al usuario realizar sus actividades de manera normal. Estas van desde la fuerza para sus equipos, la iluminación, el aire acondicionado, etc.

Solo se entenderá como ahorro a aquella disminución en el empleo de la energía que en ningún momento deteriore el confort de los usuarios.

En General, son cuatro los elementos que hay que cuantificar para establecer la rentabilidad de una oportunidad específica de mejor aprovechamiento de la energía:

1. La energía que puede ahorrarse, lo cual se establece en función de los parámetros energéticos de la tecnología utilizada y de la que la puede sustituir, y del patrón de uso de la misma.
2. La tarifa o precio de la energía que utiliza, lo cual permite establecer el valor monetario de lo que se puede ahorrar.
3. El costo de la modificación o de la sustitución del equipo o sistema; y
4. La tasa de retorno que espera quien hace la inversión para ahorrar energía.

Con estos valores se puede entonces hacer un análisis económico que establezca la rentabilidad de la medida.

## 1.2.2 BENEFICIOS DEL AHORRO DE ENERGÍA

Independientemente del aspecto ecologista el ahorro de energía aporta una gran diversidad de beneficios tanto a los usuarios como a las compañías suministradoras de energía eléctrica. Tales beneficios básicamente se reflejan en dos áreas:

- COSTOS.
- INSTALACIONES.

### COSTOS

El área que a primer instancia resulta ser más atractiva, tanto para los usuarios de la energía eléctrica así como para las compañías que se dedican a su generación y suministro, sin duda alguna, es el área de costos.

Para los usuarios:

- a) Para cualquier tipo de usuario resulta atractivo reducir los gastos derivados por facturación eléctrica. Hoy en día, sobre todo en momentos económicamente difíciles, todo tipo de empresas privadas de servicios o industriales, grandes, medianas o pequeñas, buscan optimizar todos sus recursos materiales y humanos, procurando para ello obtener el máximo gubernamentales también siguen el mismo esquema de optimización ya que los recursos aportados por los contribuyentes a través del gobierno estatal o federal son limitados y el aumentar impuestos provoca malestar por parte de la población. De manera similar las familias buscan un mayor aprovechamiento del gasto familiar, ya que lamentablemente hay quienes sólo dependen de un salario mínimo.
- b) En el interior del país, el pago del Servicio de Alumbrado Público en la mayoría de los casos está establecido mediante decretos locales, calculándose aplicando un porcentaje aprobado en cada estado a la facturación derivada por energía eléctrica se hace un cargo adicional que se destina al servicio de alumbrado público. Este cargo varía de un 8 a 10%. Si el usuario ahorra energía en este caso tendrá un ahorro adicional. La ventaja es que de cualquier forma sigue recibiendo el mismo servicio de alumbrado público.
- c) Todas estas cuestiones de ahorro de energía son totalmente una cuestión dialéctica, ligan íntimamente tanto a productores como a usuarios. Si los usuarios optimizan su consumo a las compañías suministradoras y generadoras pueden disminuir sus costos de operación y mantenimiento y así podrían dirigir un mayor número de recursos hacia el reforzamiento de la Cantidad, Calidad y Oportunidad de los servicios ofrecidos al usuario.

Para las compañías suministradoras:

- A) Al disminuir sus gastos de operación las compañías suministradoras se vuelven más competitivas, es decir, pueden competir ante otras compañías suministradoras. Cualquier ventaja técnica que se refleje en una ventaja económica sobre otras compañías la pondrá en mejor posición de mercado, volviéndose más rentables al captar un mayor número de consumidores de energía eléctrica. En otras palabras las compañías suministradoras se vuelven un buen negocio para sus accionistas.
- B) El ahorro de las compañías suministradoras obtienen cuando los usuarios hacen más eficiente su consumo de energía refleja directamente en la disminución de inversiones requeridas para atender la demanda máxima y el consumo del sistema. Si el usuario tiene un consumo óptimo esto evita el sobredimensionamiento de los equipos de suministro, lo que implica un abaratamiento de las instalaciones que requieren realizar las compañías para brindar el suministro a este y en general a todos los demás usuarios.
- C) En general, una disminución de la Demanda Máxima y el Consumo de todos los usuarios provocará una disminución de los recursos naturales que están implicados en la generación masiva de energía eléctrica. En el caso de México, como en el de muchos países en vías de desarrollo se refleja en una Disminución de Costos Dirigidos a Hidrocarburos.

## INSTALACIONES

Además de la disminución de costos, los beneficios que aporta la implementación de un programa de ahorro energético, tanto para los usuarios como para las compañías suministradoras, se reflejan en una mejora de las condiciones operativas de sus instalaciones del usuario de una u otra manera se reflejan en beneficios económicos.

Por un lado, la cuantificación y el monto de estos beneficios depende muy particularmente de cada caso. A veces puede resultar de manera fácil cuantificar económicamente tales beneficios mientras que a veces resulta en extremo laborioso llegar a tales resultados. Por otro lado, para algunos usuarios no llegan a ser tan representativos.

Las instalaciones son como nuestros cuerpos. Más allá de lo que sucede en una simple consulta médica, no sólo se pretende aliviar un padecimiento en particular, si no hacer que el paciente además pueda reestructurar su condición física y sus hábitos.

### PARA LOS USUARIOS:

- a) La disminución de carga eléctrica trae como resultado una disminución de corriente en todos los conductores de la instalación del usuario. Tal disminución de corriente trae una reducción de las pérdidas eléctricas por efecto Joule. Tales pérdidas no aportan ningún beneficio al usuario y si tiene que pagar por el costo que representan.
- b) Otro aspecto técnico interesante para el usuario es que al reducir la corriente que circula por sus instalaciones existe un mejoramiento de la regulación de voltaje, que para ciertos equipos, sobretudo electrónicos, resulta ser indispensable. Aunque los usuarios implementen en sus cargas críticas reguladores de voltaje, el implementar equipos de regulación a toda la instalación representaría una inversión enorme.
- c) La reducción de corriente disminuye el calor generado por efecto Joule que tienen que soportar los aislamientos de los conductores de la red del usuario. Al disminuir la temperatura en los aislamientos se conserva y prolonga su vida útil, lo que significa una operación más confiable de las instalaciones y un menor gasto en mantenimiento. Existen procesos automatizados en los cuales al interrumpirse el suministro de energía eléctrica se reinicializa todo el proceso. También existen casos más críticos en los que una prolongada falta de suministro de energía eléctrica provoca la pérdida de materias en procesamiento. Lo anterior se da mucho en la industria Química y Farmacéutica en las cuales las sustancias que se manejan tienen procesos en extremo complicados y delicados. Tales eventos representan cuantiosas pérdidas materiales en muchos casos.
- d) En general dependiendo de los alcances que se le pretenda dar, un programa de ahorro energético puede ser lo bastante agresivo para poder lograr, optimizar las instalaciones eléctricas y la información que se dispone de ellas al actualizar los planos unifilares y de detalle, mejorar los flujos de potencia internos (Balanceo de cargas), eliminar viejas anomalías en los sistemas, revisar la contratación de la compañía suministradora, etc.
- e) En ocasiones los alcances del programa de ahorro son tales que permiten una disponibilidad de carga en las instalaciones para nuevas instalaciones que antes no se tenía. El caso más simple lo encontramos en tableros de distribución sobrecargados, que al eliminar los desperdicios puede alimentar circuitos nuevos. Para cada caso en particular el costo de una nueva instalación depende de la ubicación y del valor de la nueva carga a alimentar. Una vez definidos estos podemos estimar cuanto nos representa en tiempo y en costo implementar cada VA's adicionales (\$ / VA<sub>ADICIONAL</sub>). Siempre en instalaciones deterioradas y sobrecargadas resulta ser más elevado el costo de los KW adicionales que en instalaciones en buenas condiciones.

- f) El calor debido a equipos ineficientes y pérdidas en los conductores en instalaciones deficientes principalmente tiene que ser absorbido por el aire acondicionado (AA) del usuario. Así la reducción de la carga térmica de los equipos y la instalación significa una reducción del consumo eléctrico de los sistemas de AA. En el caso de no existir AA, tal reducción de carga térmica aumenta el confort ambiental de las instalaciones lo que a su vez significa mayor productividad del personal. Sobre todo en zonas de clima cálido.

#### PARA LAS COMPAÑÍAS SUMINISTRADORAS:

- A) La reducción generalizada de los centros de consumo reduce las pérdidas en las líneas de transmisión y distribución de las compañías generadoras y suministradoras. Tale pérdidas contribuyen a hacer ineficiente la línea de transmisión.
- B) La reducción de corriente y pérdidas en las líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica representa una mejor regulación de voltaje, hecho que reduce la calidad del servicio ofrecido a los usuarios.
- C) En los equipos de las cías suministradoras al circular una menor corriente se prolonga la vida útil tanto de transformadores, conductores aislados, aislantes diversos. También aumenta su confiabilidad, con lo que se evitan cuantiosas pérdidas durante apagones provocados por sobrecargas en sus equipos.
- D) Históricamente la demanda de usuarios del servicio eléctrico ha ido en mayor aumento que la capacidad proyectada de los sistemas de suministro eléctrico, creciendo en forma desproporcionada, tal crecimiento tiene muchos inconvenientes. Al reducir el crecimiento de la demanda de energía eléctrica, este puede ser más ordenado y disponer de capacidad de suministro adicional. Las acciones por parte de las cías. suministradoras tendientes a modificar el empleo de la energía eléctrica de los usuarios se le conoce en el ámbito internacional como DEMAND SIDE MANAGEMENT (DSM).

## 1.2.2 ASPECTOS AMBIENTALES DEL AHORRO DE ENERGÍA

¿Considera usted que el ahorro y uso eficiente de la energía equivalen a sacrificar o reducir su nivel de bienestar o el grado de satisfacción de sus necesidades cotidianas? Desde luego que no. Este espacio, lo estamos dedicando a la reflexión y a un cambio de hábitos y actitudes que favorezcan una mayor eficiencia en el uso de la energía, el empleo racional de los recursos energéticos, la protección de la economía familiar y la preservación de nuestro entorno natural.

Mantener el calentador de gas encendido día y noche, sin que nadie utilice el agua caliente; usar el automóvil para distancias cortas en vez de caminar y, por ende, hacer ejercicio; comprar productos cuyos empaques o envases se van rápidamente a la basura, a pesar de que su fabricación supuso un alto costo de energía, son sólo algunos ejemplos de la falta de cuidado de la energía y del medio ambiente en la que con frecuencia incurrimos. En éstos y en otros muchos casos, la solución está en nuestros manos.

La preservación de nuestros recursos naturales, el ahorro de energía y el cuidado del medio ambiente no son conceptos abstractos, sino una responsabilidad compartida de la sociedad y los individuos. Todos debemos preguntarnos: ¿qué estamos haciendo como ciudadanos responsables y qué ambiente deseamos heredarles a nuestros hijos? ¡El que hoy tenemos no es el mejor!.

¿Sabía usted que los árboles y plantas no sólo sirven de adorno, sino que le pueden ahorrar energía y dinero en su casa?

Plantados en lugares estratégicos, los árboles se encargan de desviar las corrientes de aire frío en invierno y proporcionan sombra en verano. Una franja de tierra con plantas entre la banqueta y los muros de la casa, evitan la entrada de calor. En ambos casos, usted puede ahorrar energía y dinero en la calefacción y/o el aire acondicionado de su hogar, además de otros beneficios para su familia y el medio ambiente, como es más oxígeno y menos bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera.

## CALENTAMIENTO GLOBAL

Esta de moda el hablar o escuchar acerca del "calentamiento global", el "cambio climático", el deterioro de la "capa de ozono" y de "los gases de efecto invernadero".

Debido a la contaminación de la atmósfera por los incendios forestales, que a veces tardan semanas y aun meses en ser controlados, la desaparición de vastas extensiones de bosques, el avance de la erosión y de los desiertos, y la quema de combustibles en las industrias, transportes y hogares de todo el mundo, entre otras causas atribuidas en gran parte a la actividad humana, nuestro planeta absorbe cada vez más radiación solar y se está calentando en forma alarmante. Lo que ocurre es que algunos gases (el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y el metano (CH<sub>4</sub>), principalmente) impiden que se disipe el calor que la Tierra recibe del Sol, igual que sucede en un invernadero al quedar atrapado el aire caliente.

El resultado es que nuestro planeta, según explican los investigadores, está sufriendo un "calentamiento global" y, por ende, un "cambio climático", que se ha relacionado con las catástrofes que han venido ocurriendo en varios países, como el nuestro, por las tormentas, ciclones o huracanes, que traen consigo graves inundaciones y daños a la agricultura, ganadería y a los propios asentamientos humanos, afectados por estos fenómenos. En el extremo opuesto, hay vastas regiones del globo en donde se han acentuado las sequías y las temperaturas extremas, la falta de producción en el campo, la muerte del ganado por la escasez de agua y forrajes, las hambrunas, enfermedades y desnutrición, entre otras serias consecuencias.

Investigadores del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), grupo de investigación establecido en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), con el objeto de evaluar la información disponible sobre el cambio climático, han concluido que de no frenarse el problema del calentamiento de la Tierra, este fenómeno podría provocar un aumento en la temperatura mundial (entre 1.4 y 5.8 grados centígrados), lo que ocasionaría el deshelo de los polos glaciares y, como consecuencia, un aumento en el nivel de los océanos (entre 11 y 88 centímetros), que afectaría a muchas zonas costeras de bajo nivel. Esto pondría en riesgo a millones de seres humanos que habitan no sólo poblados y ciudades pequeñas, sino también grandes urbes, como es el caso de Nueva York y Tokio, entre otras. (México no sería la excepción, pues basta recordar los miles de kilómetros que conforman nuestros litorales, los puertos, ciudades y pueblos que ahí se encuentran, todo ello sin considerar la pérdida de terrenos, playas y demás daños en nuestras costas).

Con base en el Tercer Reporte del IPCC, publicado en marzo de 2001, se confirmó que el cambio climático antropogénico (que causa el hombre) es un fenómeno real. En lo que existe incertidumbre aún es en el grado de aumento de la temperatura del planeta.

Casi todas las naciones del mundo (México entre ellas) están decididas a tomar medidas para hacer un frente común en contra de estos fenómenos que amenazan la vida en el planeta. La Convención de Río de Janeiro, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, firmada durante la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, aprobó el principio de precaución, pues el problema es tan grave, que se debe de actuar de inmediato.

El Protocolo de Kioto, busca remediar gradualmente esta problemática. Por ejemplo, establece plazos y medidas concretas para que los países industrializados reduzcan sus emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Del 16 al 27 de julio de 2001; representantes de diversas partes del mundo se reunieron en Bonn, Alemania, con objeto de encontrar soluciones globales al fenómeno del cambio climático, a través de la operación del Protocolo de Kioto. En dicha reunión, conocida como "Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 6.2", los ministros del Medio Ambiente de 180 países alcanzaron un acuerdo que allana el camino para que el Protocolo de Kioto pueda entrar en vigor. Para alcanzar este acuerdo fue fundamental el respaldo de Japón, en vista de la oposición de Estados Unidos para aceptarlo.

Por otro lado, el Protocolo de Montreal, que data del 16 de septiembre de 1987, se refiere a dejar de usar los clorofluorocarbonos, gases empleados en sistemas de aire acondicionado y de refrigeración, que cuando son liberados a la atmósfera, se elevan hasta las capas superiores de la misma y destruyen la capa de ozono, que no es otra cosa sino una de las formas que adquiere el oxígeno y que nos sirve de "filtro" para contrarrestar los rayos ultravioletas del Sol. Estos pueden causar cáncer de piel e incluso ceguera, como ya está ocurriendo con los animales marinos del antártico.

La generación de energía eléctrica implica en su gran mayoría, la quema de combustibles fósiles (recursos no renovables), pues aún no se cuenta con una infraestructura que pueda aprovechar al máximo las bondades de las llamadas energías limpias o renovables. Esto quiere decir que cuando implementamos programas de ahorro de energía eléctrica, estamos contribuyendo a conservar un poco más tiempo los recursos naturales no renovables, y por ende a disminuir los efectos que la utilización de estos provoca. La quema de estos origina gases como metano y bióxido de carbono que como ya vimos contribuyen al calentamiento global de la Tierra y todo lo que ello conlleva.

Los combustibles fósiles (petróleo, carbón mineral y gas natural) son recursos finitos que inexorablemente van a agotarse; de ahí su denominación de recursos "no renovables". Existen también las energías renovables, que se definen como formas de energía que tienen una fuente prácticamente inagotable con respecto al tiempo de vida de un ser humano en el planeta, cuyo aprovechamiento es técnicamente viable y más importante aún, participan en las medidas para combatir problemas ambientales, como el cambio climático.

Las energías renovables ofrecen la oportunidad de obtener energía útil para diversas aplicaciones, su aprovechamiento tiene menores impactos ambientales que el de las fuentes convencionales y poseen el potencial para satisfacer todas nuestras necesidades de energía presentes y futuras.

Cabe reconocer que la mayoría de estas energías, excepto la hidroeléctrica, no se han podido desarrollar en México, en la forma en la cual se necesita para reemplazar el uso de los energéticos fósiles, en nuestro país se genera electricidad por medio de algunas de estas energías, y si no contamos la hidroeléctrica, ocupan un porcentaje bastante reducido del total, por lo que se requiere un mayor desarrollo en cuanto a la tecnología para un mayor aprovechamiento de ellas.

## I.3 AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

### I.3.1 PARTICIPACION GUBERNAMENTAL

En México el gobierno ha contribuido al ahorro de energía en forma muy importante, mediante la creación de organismos especializados en el área y con el apoyo a los gobiernos de los estados y municipios identificando y cuantificando, el análisis e instrumentación de programas, proyectos y acciones en materia de eficiencia energética y aprovechamiento de las energías renovables.

Por otro lado, se apoya la integración de comités, comisiones u oficinas especializadas que se orienten a integrar información, articular actores y desarrollar proyectos y programas en el contexto geográfico de estados y municipios.

Se identifican, integran y difunden los medios adecuados para obtener información y herramientas metodológicas para el diseño y operación de programas y proyectos.

Promueve, en instituciones educativas estatales y nacionales, el establecimiento de cursos, diplomados, especialidades y maestrías para apoyar en la formación de recursos humanos capacitados en el diseño, implantación, operación y evaluación de programas municipales y estatales.

Diseña, promueve y articula la instrumentación y/o ampliación de programas regionales y nacionales de sustitución de equipos ineficientes y de instalación de equipos que aprovechen las energías renovables.

Promueve el desarrollo y la vinculación con instituciones financieras que dispongan de recursos para que los estados y municipios desarrollen proyectos y programas.

Se pone a la tarea de vincular a los organismos locales con organismos similares en otras partes del mundo.

Como se menciona, el gobierno a través del trabajo conjunto con organismos como CONAE y FIDE ha contribuido enormemente a la implementación de programas de ahorro de energía, en todos los sectores de la economía nacional. Ejemplo de ello, es la tabla I.1, en la que se muestran los ahorros de energía obtenidos gracias a programas implementados por el FIDE en el 2001.

### ORGANISMOS DE APOYO

#### Financiamiento

El Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) es un fideicomiso privado que brinda apoyo financiero a las empresas para proyectos de ahorro de energía eléctrica. El apoyo lo hace a través de préstamos de hasta un 60% del monto de la inversión necesaria para llevar adelante este tipo de proyectos. El límite de los préstamos es de tres millones y medio de pesos. Además de estos apoyos, el FIDE cuenta con un programa de incentivos para la adquisición de motores y lámparas, entre otros equipos eficientes, lo que le permite obtenerlos con una bonificación en su compra.

#### Asistencia Técnica

La CONAE puede apoyarlo en ubicar sus oportunidades, ya sea mediante su sitio en Internet o personalmente a través de más de cien Puertos de Atención ubicados en todo el país y catorce Unidades de Enlace para la Eficiencia Energética (U3E) distribuidas estratégicamente en diferentes estados de la República.

TABLA I.1 AHORROS DIRECTOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA A NIVEL NACIONAL POR SECTOR Y PROGRAMA (AÑO 2001)

| SECTOR                                  | PROGRAMA                            | # DE ACCIONES                    | AHORRO       |              |
|---|-------------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|
|   |                                     |                                  | MW           | GWh          |
| Doméstico y *PYMES                      | ILUMEX                              | 2,454,922                        | 176          | 310          |
|   | Proyecto Piloto                     | 897,031 lámparas y<br>16,767 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. En 2001 |                                  | 865          | 1,000        |
| Incentivos y Desarrollo 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                           |              |              |
| <b>TOTAL</b>                            |                                     |                                  | <b>1,702</b> | <b>3,558</b> |

### 1.3.2 AHORRO DE ENERGÍA EN LA EMPRESA

Es posible que en su empresa se esté desperdiciando energía y, por lo mismo, que parte de su dinero se esté convirtiendo, literalmente, en humo. Los estudios realizados por instituciones especialistas en el ramo en una gran cantidad de instalaciones, han demostrado que se puede ahorrar, sin inversión y/o con inversiones muy rentables, alrededor de 20% en el consumo de combustibles y energía eléctrica de casi cualquier instalación.

Por este motivo, se cuenta con información acerca de los procesos, equipos, sistemas y servicios, que están disponibles hoy en día, así como la asistencia técnica necesaria para la aplicación de medidas de eficiencia energética, que en México y en otros países del mundo han demostrado su eficacia.

La energía se desperdicia de muchas maneras y, con frecuencia, uno no se da cuenta de que esto esté ocurriendo. En este sentido, podemos enumerar algunas de las acciones a través de las cuales se puede ahorrar energía:

- Apagar aparatos cuando no se requieren. Muchas veces se dejan lámparas prendidas en cuartos vacíos o durante el día, o motores operando sin carga.
- Evitar fugas y pérdidas de conducción y transmisión. Una mala tierra eléctrica, una tubería sin aislar que maneja fluidos calientes, un edificio sin aislar en un lugar con climas extremos, una fuga de agua o aire comprimido son casos típicos de desperdicio de energía.
- Aprovechar el calor que actualmente se desecha. Existen muchos casos en que los gases calientes se tiran a la atmósfera y cuyo calor pudiera ser utilizado en el mismo proceso y, a veces, para generar electricidad.
- Utilizar equipos con la capacidad adecuada a la carga demandada. Un caso común es el de sistemas de bombeo de agua que tienen capacidad para mover más agua de la que realmente se requiere.
- Fraccionar circuitos eléctricos y de aire acondicionado. Es muy común encontrarse pisos enteros con un solo interruptor para la iluminación o con un solo termostato para el aire acondicionado.
- Mejorar el mantenimiento. Los equipos sin mantenimiento adecuado consumen más energía.
- Usar tecnología de alta eficiencia energética. El avance tecnológico y la aplicación de normas obligatorias han dado lugar a que los equipos en el mercado consuman mucho menos energía que los equipos en operación. En este sentido, resaltan las siguientes tecnologías:
  - Lámparas fluorescentes compactas. Éstas consumen una cuarta parte que las incandescentes que dan el mismo nivel de iluminación (y duran diez veces más).
  - Motores. Los motores actuales pueden ser hasta 7% más eficientes que los que entraban al mercado en 1994.
  - Equipos de aire acondicionado. En este campo los equipos nuevos tienen eficiencias de más de 20% que los que entraban al mercado hace apenas unos años.

De esta manera, se puede ahorrar energía utilizando:

- La cantidad adecuada para el uso que se requiere.
- En el punto donde se le requiere.
- Por el tiempo que sea realmente necesario.
- Con el dispositivo que tenga la mayor eficiencia energética.

## PASOS PARA AHORRAR ENERGÍA EN LA EMPRESA

Para determinar las oportunidades de ahorro de energía que existen en su empresa y, por ende, para aprovecharlas, le sugerimos dar los pasos que se describen a continuación:

Determine cómo mide el consumo y cómo paga su empresa la electricidad: Ubique y organice todos los contratos y recibos por concepto de energía eléctrica que ha manejado históricamente su empresa. Identifique el tipo de tarifa o precio unitario a la que está sujeto el servicio. Identifique dónde, cómo y cuándo se mide el consumo de energía en su empresa. Busque la forma de medir sus consumos en períodos más cortos que los de facturación y hágalo de manera más desagradada, es decir, por proceso, sistema y, en algunos casos que lo amerite, por equipo.

Organice y sistematice la información de sus consumos eléctricos: Organice la información sobre consumos de energía eléctrica, según se pueda, por hora, día, semana, mes. Sistemáticamente, póngala en hojas de cálculo o en una base de datos en una computadora. Igualmente, separe esta información, si es posible, por proceso o por área de la empresa, instalación o equipo.

Identifique cuándo y dónde gasta energía eléctrica: Con la información que usted ha organizado y sistematizado, puede ahora ubicar dónde y cuándo ocurre la mayor parte de su consumo de energía y así empezar a definir las áreas de oportunidad. Por ejemplo, si su empresa está bajo una tarifa horaria, usted puede encontrar oportunidades de ahorro al analizar la variación horaria del consumo eléctrico en alguno de sus procesos y correlacionarla con la variación diaria del precio de la electricidad.

Integre información de diseño de sus procesos, sistemas y equipos: Cuando se diseñan los procesos, sistemas y equipos, se establecen (y documentan), por lo general, sus niveles de consumo de energía o, cuando menos, sus condiciones óptimas de operación. Disponer de esta información es fundamental, ya que le permitirá tener un referente para saber si su empresa, al nivel que sea, está desperdiciando energía eléctrica.

Compare los índices de consumo de instalaciones con procesos y/o actividades similares a las de su empresa: Una forma sencilla de saber si sus consumos son altos o bajos, es comparar sus índices de consumo con los de otras empresas o procesos similares. Estos índices establecen consumos de energía por alguna unidad referida a la instalación o proceso. Por ejemplo, un índice muy utilizado en inmuebles es el de kWh de electricidad por metro cuadrado por año. Estos índices se pueden obtener de las cámaras de industria y de publicaciones especializadas. Igualmente, se puede consultar a la CONAE.

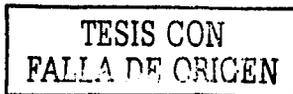
Calcule índices de los energéticos de su empresa: Con los datos de consumo energético e información sobre su empresa, sus procesos y sus instalaciones, usted puede establecer, primordialmente por año, índices que puede utilizar para hacer comparaciones.

Ubique sus oportunidades específicas: Aunque es muy posible que los pasos previos le hayan permitido identificar oportunidades que usted nunca imaginó ubicar tan fácilmente y que tuvieran tan bajo costo, lo que sigue es establecer las oportunidades de manera específica. Es aquí donde resulta recomendable buscar ayuda externa a través de consultores especializados.

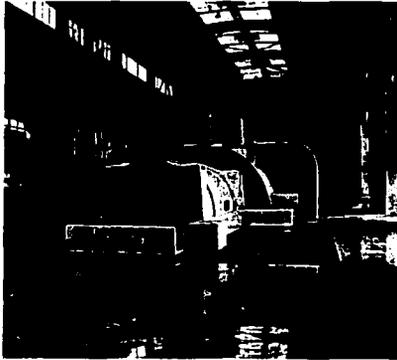
### **AHORRO DE ENERGÍA MEDIANTE GENERACIÓN PROPIA DE ELECTRICIDAD**

El autoabastecimiento de electricidad, que está permitido por nuestra legislación desde 1992, es una alternativa interesante en la medida que la generación unitaria (kWh) resulte más barata que lo que se paga a la empresa suministradora. En particular, esto sucede cuando en una instalación es posible la cogeneración, que se puede definir como la producción simultánea de electricidad y energía térmica. La cogeneración puede ser una alternativa interesante para aquellas instalaciones que requieren calor de proceso (ya sea el calor mismo o como antecedente a la producción de frío). Con la cogeneración se logra aumentar la eficiencia en el uso de los combustibles hasta en un 90%.

Antes de tomar una decisión de autoabastecimiento de electricidad para su empresa, evalúe usted cuidadosamente la conveniencia de hacerlo. Generalmente, el estudio correspondiente debe ser realizado por especialistas, considerando, entre otras variables, los consumos pasados y presentes, así como la estimación de los futuros, las tendencias de los precios de los energéticos que consume la empresa y los estimados de producción al futuro. El estudio de autoabastecimiento también deberá tomar en cuenta las medidas de ahorro de energía y la manera en que realmente genera la electricidad que necesita.



## CAPITULO II



## COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO II

# COSTO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

### II.1 ANTECEDENTES

El hablar de energía eléctrica no solo implica el decir los grandes beneficios que contar con este servicio representa, implica también hablar de los grandes esfuerzos que el sector eléctrico tiene que realizar para poder mantener de forma eficiente la satisfacción de la demanda de energía eléctrica. Cabe mencionar que dicha demanda es creciente de manera constante y el Sistema Eléctrico Nacional tiene que satisfacer toda la carga que este crecimiento implica.

Esto se traduce inmediatamente en términos de dinero, por las grandes cantidades que se tienen que invertir para el mantenimiento de la red actual, más los gastos que implica el crecimiento de las instalaciones y la construcción de nuevas centrales de generación, que garanticen el abasto del suministro eléctrico a corto plazo.

Cuando ocurre una falla en el suministro de energía y observamos, los impactos negativos que esta ocasiona en nuestra casa, en los negocios, en las empresas y en la industria, es entonces cuando apreciamos la importancia que hoy en día representa la energía eléctrica, para el desarrollo económico.

Su costo relativamente bajo, aunado a la falta de conciencia y educación, hacen que no solo no se ahorre, sino que se desperdicie energía eléctrica de manera inmensurable.

Dicho sea de paso es que se tiene un fuerte subsidio por parte del gobierno en este sector, lo que crea un efecto de engaño, que hace pensar que la energía eléctrica es muy barata; lo cual esta muy lejos de la realidad y sin embargo con un conocimiento adecuado de lo que conlleva el costo de la energía eléctrica, se pueden obtener grandes beneficios en la empresa.

Exponemos en este capítulo la forma en la que se cobra la energía eléctrica, para hacerle ver al empresario las posibilidades de ahorro que tiene con simplemente estar enterado de la forma en la que se le cobra la energía eléctrica, pues en muchas ocasiones, con un adecuado cambio de tarifa se pueden obtener importantes disminuciones en el pago de este servicio indispensable.

Por otro lado, el que se cuente con un buen conocimiento del estado de las instalaciones eléctricas, puede llevar a tener otra fuente de ahorro si así lo determinan las acciones a seguir, una vez teniendo en cuenta este aspecto del costo de la energía eléctrica.

### II.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

Hablaremos acerca de la generación eléctrica para darnos una idea de la manera en que se consume la energía eléctrica generada, de la forma en que se genera y los principales consumidores.

Cabe mencionar el esfuerzo que realizan las compañías suministradoras en nuestro país, en especial C.F.E., para administrar la operación y el mantenimiento de las centrales generadoras para suministrar la energía eléctrica que demande el sistema, con calidad, oportunidad, costo mínimo y en armonía con la ecología.



**NUMERO DE CENTRALES GENERADORAS**

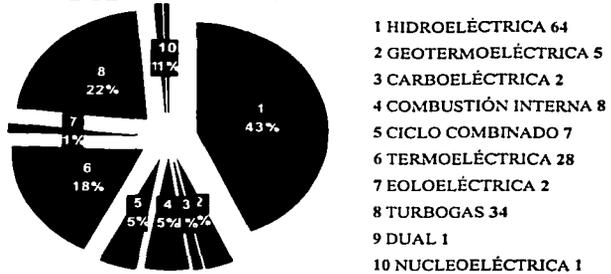


FIG. II.1 Número de centrales generadoras en el año 2000.

**NUMERO DE UNIDADES GENERADORAS**

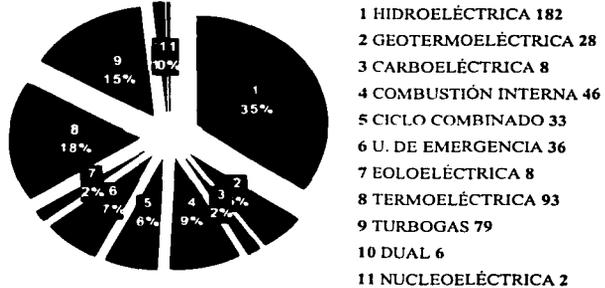
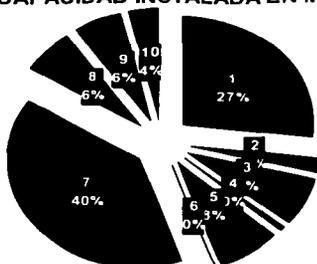


FIGURA II.2 Número de unidades generadoras en el año 2000.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

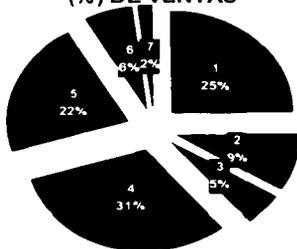
### CAPACIDAD INSTALADA EN MW



- 1 HIDROELÉCTRICA 9.745.149
- 2 GEOTERMOELÉCTRICA 752.900
- 3 CARBOELÉCTRICA 2.600.000
- 4 COMBUSTIÓN INTERNA 134.604
- 5 CICLO COMBINADO 2.873.020
- 6 EOLOELÉCTRICA 2.175
- 7 TERMOELÉCTRICA 14.323.875
- 8 TURBOGAS 2.338.58
- 9 DUAL 2.100.000
- 10 NUCLEOELÉCTRICA 1.350.000

FIGURA II.3 Capacidad instalada al año 2000

### ESTRUCTURA DEL MERCADO ELÉCTRICO (%) DE VENTAS

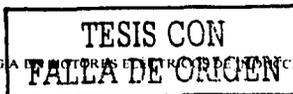


- 1 RESIDENCIAL
- 2 COMERCIAL
- 3 SERVICIOS
- 4 EMPRESA MEDIANA
- 5 GRAN INDUSTRIA
- 6 AGRÍCOLA
- 7 EXPORTACIÓN

FIG. II.4 Porcentaje de ventas por sector 2000

Como podemos observar la mayor parte de la demanda de energía eléctrica esta dada por la empresa mediana, además, en el sector comercial se encuentran incluidas las pequeñas empresas además de los establecimientos comerciales y de servicios. Lo que en conjunto nos muestra la gran importancia que el sector al que se dirige este trabajo representa, en el consumo de el fluido eléctrico, y por lo tanto, en el ahorro de este.

A continuación se precisan los sectores agrupados en cada uno de los grupos de consumo de energía eléctrica, agrupados así por el tipo de tarifa que estos pueden contratar.



## II.3 TARIFAS

El primer paso para ahorrar energía es determinar cuánto estamos desperdiciando y cuánto nos cuesta esto. Para hacerlo, resulta indispensable conocer a fondo cómo reportan nuestros consumos y cómo calcula sus costos la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

Existen 18 diferentes tipos de tarifas que la CFE aplica a sus usuarios.

### II.3.1 CONCEPTOS GENERALES DE TARIFAS PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La demanda de energía eléctrica se presenta en forma instantánea y debido a que la corriente alterna no se puede almacenar, sino que se produce en el momento que se demanda, es indispensable contar con la infraestructura de generación de energía eléctrica que garantice en todo momento la disponibilidad de dicho fluido. Sin embargo, debido a las condiciones cambiantes tanto climatológicas como de mercado, es muy difícil predecir el comportamiento del mercado del fluido eléctrico a nivel nacional.

Debido a esto existen diferentes tarifas de acuerdo a los tipos de usuarios de que se trate y a la cantidad de energía demandada.

Donde podemos definir los sectores como sigue:

**Residencial:** Usuarios de las tarifas 1, 1A, 1B, 1C y 1D; para servicio doméstico.

**Comercial:** Usuarios de las tarifas 2 y 3; establecimientos comerciales, de servicio y microindustrias.

**Servicios:** Usuarios de las tarifas 5, 6 y 7; para servicios de alumbrado público, de bombeo de aguas negras y potables y servicio temporal.

**Empresa Mediana:** Usuarios de las tarifas OM y HM; industrias pequeñas y medianas, se incluyen establecimientos comerciales y de servicios grandes.

**Gran Industria:** Usuarios de las tarifas HS, HSL, HT y HTL; industrias grandes y grandes sistemas de bombeo de agua potable.

**Agrícola:** Usuarios de la tarifa 9; servicio de bombeo para riego agrícola.

**Exportación:** Ventas a USA y Belice.

Los diferentes precios de la energía eléctrica dependen básicamente de los siguientes aspectos:

- Características del suministro.
- Demanda contratada.
- Potencia máxima demandada
- Energía consumida.
- Voltaje de alimentación.
- Carácter garantizado o no del suministro.

La información del costo de electricidad se puede obtener a partir del recibo o bien, consultando la agencia de la compañía eléctrica en la localidad. En las instalaciones industriales y comerciales básicamente está integrado por tres componentes, estos son controlables por el usuario:

### II.3.1.1 CARGO POR DEMANDA MÁXIMA

También llamada Cargo por Potencia Eléctrica Demandada. Es el costo de la demanda máxima o facturable que se ha tenido en el periodo, resultado de multiplicar el número de KW por la tarifa correspondiente expresada en \$/KW.

La demanda máxima, es el máximo valor promedio de la potencia real, que el usuario ha requerido de la compañía de suministro durante un periodo específico de tiempo.

La CFE considera que la demanda es considerada como máxima siempre y cuando se mantenga el mismo valor por lo menos 15 minutos. Este valor es clave para las compañías de suministro eléctrico, con el se calculan, la regulación y la capacidad presente y a futuro del sistema de distribución.

Como las compañías suministradoras atienden a millones de usuarios, el darles energía de demanda máxima en el instante solicitado implica un costo adicional aparte de lo que es propiamente el consumo.

El cargo por potencia puede variar con la región del país y la época del año.

### II.3.1.2 CARGO POR ENERGÍA ELÉCTRICA CONSUMIDA

Es el costo de la energía consumida en el periodo de facturación, resultado de multiplicar el número de KWh por la tarifa correspondiente expresada en \$/KWh. El cargo por energía puede variar en la región del país donde la compañía de suministro presta el servicio, con la época del año y con la hora del día en que se consume la energía.

### II.3.1.3 CARGO POR BAJO FACTOR DE POTENCIA

Este cargo se aplica cuando el factor de potencia durante el periodo de facturación, es en promedio menor al 90%. Un bajo factor de potencia indica que la instalación esta consumiendo una potencia reactiva (VAR) en exceso, por lo cual, la compañía suministradora requiere ser compensada.

### II.3.1.4 PERÍODOS DE PUNTA, INTERMEDIA Y BASE

De manera similar a lo que sucede con un consumidor, para una ciudad y en general para un país, las costumbres de uso marcan una gráfica de consumo de energía típico, que reflejan sus costumbres de uso. El sistema eléctrico nacional (SEN) ha determinado para nuestro país un comportamiento típico como el mostrado a continuación.



**HORAS DEL DIA**

FIG. II.5 Perfil de carga del SEN

La potencia consumida durante las 24 horas del día es a lo que se conoce como *demanda base*, es decir que durante todo el día se demanda energía eléctrica y siempre tendremos en operación, el período en el que solo se demanda esta potencia por parte del sistema se le conoce como *período base* y comprende desde las 0 hasta las 6 horas de lunes a viernes, sábados de 0 a 8 hrs. y domingos de 0 a 19 hrs. Casi todo el año. Para soportar esta demanda, se necesitan plantas de base como son las plantas hidroeléctricas de agua corriente, hidroeléctricas de vaso restringido y algunas unidades nucleoelectricas.

Cuando la demanda no es máxima pero tampoco es la más baja se le conoce como *demanda intermedia*, se da por un periodo de 14 horas al día, de 6 a 18 y de 22 a 24 hrs. de lunes a viernes, de 8 a 19 y de 21 a 24 hrs. los sábados y los domingos de 18 a 24 hrs. a este periodo se le llama *período de intermedia*, en este se requieren además de las plantas de base , plantas termoeléctricas, hidroeléctricas de vaso restringido y nucleoelectricas.

En el punto mas alto de la gráfica II.5 se indica cuando se esta demandando mayor potencia del sistema de distribución, momento en el cual la mayoría de usuarios están conectados y requiriendo mayor energía. A este valor se le conoce como *demanda pico*, normalmente se da en el periodo comprendido entre las 18:00 y las 22:00 hrs. de lunes a sábado, casi todo el año. A este periodo se le conoce como *período de punta* en donde se requiere la generación de electricidad, además de las anteriormente mencionadas, por medio de plantas de respuesta rápida o de pico como las de ciclo combinado, las cuales requieren de grandes costos de operación.

A las compañías suministradoras les conviene que la demanda de energía sea uniforme en el transcurso del día, debido al mayor esfuerzo técnico y económico que se tiene que realizar en momentos de demanda pico. Por esta razón, se motiva a los consumidores a emplear el servicio de E.E. durante horas de menor demanda.

Los conceptos involucrados en una factura eléctrica pueden ser los mostrados en la tabla I.1

**TABLA II.1 PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN LA FACTURACIÓN ELÉCTRICA**

| <b>CONCEPTOS COBRADOS EN UNA FACTURA ELÉCTRICA</b> |     |
|--|-----|
| <b>Energéticos y controlables por el usuario</b>   |     |
| Potencia Eléctrica Demandada                       | KW  |
| Energía Eléctrica Consumida                        | KWh |
| Factor de Potencia                                 | %   |
| <b>Otros no controlables por el usuario</b>        |     |
| Cargo Fijo (en algunas tarifas)                    |     |
| Por medición en baja tensión (en algunas tarifas)  |     |
| Por alumbrado público (en algunos municipios)      |     |
| Impuesto al valor agregado                         |     |

### II.3.1.5 TENSIÓN DE SUMINISTRO

Para la aplicación e interpretación de las tarifas para la venta de energía eléctrica se considera lo siguiente:

- Baja tensión** es el servicio que se suministra en niveles de tensión menores o iguales a 1,000 volts.
- Media tensión** es el servicio que se suministra en niveles de tensión mayores a 1,000 volts, pero menores o iguales a 35 kilovolts.
- Alta tensión a nivel subtransmisión** es el servicio que se suministra en niveles de tensión mayores a 35 kilovolts, pero menores a 220 kilovolts.
- Alta tensión nivel transmisión** es el servicio que se suministra en niveles de tensión iguales o mayores a 220 kilovolts.

### II.3.2 TARIFAS VIGENTES EN MÉXICO

En la siguientes tablas se presentan las tarifas vigentes en México.

TABLA II.2 TARIFAS AGRUPADAS POR TIPO DE SERVICIO

| TIPO DE SERVICIO           | TARIFAS  |
|----------------------------|--|
| - Doméstico                | 1, 1-A, 1-B, 1-C, 1-D, 1-E                                 |
| - Servicios Públicos       | 5, 5A, 6   |
| - Riego Agrícola           | 9, 9M  |
| - Temporal                 | 7  |
| - General en baja tensión  | 2,3  |
| - General en media tensión | O-M, H-M   |
| - General en alta tensión  | H-S, H-SL, H-T, H-TL                                       |
| - De respaldo              | HM-R, HM-RF, HM-RM, HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF, HT-RM |
| - Interruptionable         | I-15, I-30   |

TABLA II.3 DESCRIPCIÓN DE CADA UNA DE LAS 31 TARIFAS

| TARIFA | APLICACIÓN  |
|--------|---|
| 1      | Servicio doméstico  |
| 1-A    | Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 25 grados centígrados.  |
| 1-B    | Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 29 grados centígrados.  |
| 1-C    | Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 30 grados centígrados.  |
| 1-D    | Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 31 grados centígrados.  |
| 1-E    | Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 32 grados centígrados.  |
| 2      | Servicio general hasta 25 KW de demanda.  |
| 3      | Servicio temporal   |
| 5      | Servicio general para más de 25 KW de demanda   |
| 5A     | Servicio para alumbrado publico en las zonas conurbadas de la Ciudad de México, Moterrey y Guadalajara.                                       |
| 6      | Servicio para alumbrado publico en el resto del pais (excluyendo la Ciudad de México, Moterrey y Guadalajara y zonas conurbadas)              |
| 7      | Servicio para bombeo de aguas negras o potables, de servicio publico.   |
| 9      | Servicio para bombeo de agua de riego agricola en baja tensión.   |
| 9-M    | Servicio para bombeo de agua de riego agricola en media tensión.  |
| O-M    | Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100 KW.  |
| H-M    | Tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda de más de 100 KW.  |
| H-S    | Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión.   |
| H-T    | Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión.  |
| H-SL   | Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión, para larga utilización.   |
| H-TL   | Tarifa horaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión, para larga utilización.  |
| HM-R   | Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla y mantenimiento en media tensión.   |
| HM-RF  | Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla en media tensión.   |
| HM-RM  | Tarifa horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en media tensión.  |
| HS-R   | Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla en alta tensión, nivel subtransmisión.  |
| HS-RF  | Tarifa horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en alta tensión, nivel subtransmisión.                                 |
| HS-RM  | Tarifa horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en alta tensión, nivel subtransmisión.                                 |
| HT-R   | Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla y mantenimiento en alta tensión, nivel transmisión.                                       |
| HT-RF  | Tarifa horaria para servicio de respaldo para falla en alta tensión, nivel transmisión.   |
| HT-RM  | Tarifa horaria para servicio de respaldo para mantenimiento programado en alta tensión, nivel transmisión.                                    |
| I-15   | Tarifa para servicio interruptionable, para demanda maxima medida en periodo de punta, semipunta, intermedio o base mayor o igual a 10,000 KW |
| I-30   | Tarifa para servicio interruptionable, para demanda maxima medida en periodo de punta, semipunta, intermedio o base mayor o igual a 20,000 KW |

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

### II.3.3 TARIFAS EN LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA

Todas las tarifas son importantes, pero enfocaremos nuestra atención a las tarifas aplicables a la pequeña y mediana empresa pues como ya se explico es el tema de este trabajo.

#### II.3.3.1 TARIFA 02

Esta tarifa se aplica en periodos bimestrales de exactamente 60 días calendario, por lo que no siempre cae en el mismo día del mes.

Supongamos un ejemplo, en el que el periodo de facturación cubre del 29 de diciembre al 27 de febrero y cuyo consumo es de 6445 (kWh). Al consumo lo dividimos entre los 60 días del mes, y obtenemos el consumo promedio diario, el cual es de 107.4167 kWh/día.

Para calcular el costo de cada mes se multiplican los días del mes en este caso 2 de diciembre, 31 de enero y 27 de febrero por el promedio diario y esto es el consumo por mes.

El costo de el consumo se basa en 4 conceptos.

- 1.- El cargo fijo
- 2.- Por cada uno de los primeros 50 kWh. 1.219 \$/kW
- 3.- Por cada uno de los segundos 50 kWh. 1.475 \$/kW
- 4.- Por cada uno de los siguientes kWh. 1.623 \$/kW

El costo de diciembre se obtendrá entonces calculando de la siguiente manera:

- Multiplico 2/31 por el precio vigente del cargo fijo.
- Multiplico los primeros 50 kWh por 2/31 por la tarifa vigente para los primeros 50 kWh.
- Multiplico los segundos 50 kWh por 2/31 por la tarifa vigente para los segundos 50 kWh.
- Multiplico los siguientes 50 kWh por 2/31 por la tarifa vigente para los siguientes kWh.
- Sumamos los 4 conceptos anteriores. (el cargo fijo y los tres variables).

Para el caso de diciembre tendríamos  $2(107.4167) = 214.8334$  kWh

Lógicamente la tarifa para los primeros kWh es más barata que para los siguientes.

Para el caso de los otros dos meses se aplicara el mismo procedimiento, utilizando (31/31) para enero y (27/28) para febrero, como factores.

#### II.3.3.2 TARIFA 03

Esta tarifa contempla un periodo de facturación de 30 días, corresponde a servicios generales con una demanda máxima mayor de 25 KW, excepto a los servicios para los cuales se especifica su tarifa.

Se calcula en base a:

- **Cargo por demanda máxima** = Costo por kW demanda \* Demanda máxima medida  
141.88 \$/kW
- **Cargo por energía consumida** = Costo por kWh \* Consumo en kWh  
Consumo en kWh = (Lectura actual - Lectura anterior) \* multiplicador  
0.894 \$/kWh
- **Bajo o alto factor de potencia (F.P.)**  
Se determina el valor del cargo o bonificación de la siguiente manera:  
Cargo=  $3/5 (0.90/ F.P.) - 1$  \*100; para F.P. menor que 0.9.

Bonificación =  $\frac{1}{4} (1 - (0.90/F.P.)) * 100$ ; para F.P. mayor que 0.9.

En ningún caso se aplicaran porcentajes de cargo superiores al 120%, ni de bonificación mayores al 2.5%.

Cargo o bonificación por demanda máxima = (cargo por demanda máxima + cargo por consumo) \* (valor del cargo o bonificación)

- Cargos por alumbrado público (en los municipios que así lo decidan).

La factura total = Cargo por demanda máxima + Cargo por consumo ± Valor del cargo o bonificación

La demanda por contratar la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor de 60% de la carga total conectada ni menor de 25 kilowatts o de la capacidad del mayor motor o aparato instalado. Cualquier fracción de kilowatt se tomará como kilowatt completo.

La demanda máxima medida se determinará mensualmente por medio de instrumentos de medición que indiquen la demanda media en kilowatts durante cualquier intervalo de 15 minutos, en el cual el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo de facturación.

### II.3.3.3 TARIFA OM

Esta tarifa contempla un periodo de facturación de 30 días, corresponde a una tarifa ordinaria para servicio general en media tensión con demanda menor a 100 KW.

Se calcula en base a:

- Cargo por demanda máxima = Costo por kW demanda \* Demanda máxima medida  
\$84.95 por cada kW de demanda máxima
- Cargo por energía consumida = Costo por kWh \* Consumo registrado en kWh  
\$0.633 por cada kWh de energía consumida
- Cargo por medición en baja tensión = (Cargo por demanda máxima + Cargo por energía consumida) \* 0.02.
- Cargo o bonificación por factor de potencia. Se calcula de la misma forma que en la tarifa 03.

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 10 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado.

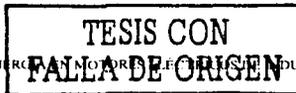
Cualquier fracción de kilowatt de demanda máxima medida se tomará como kilowatt completo.

Cuando la demanda máxima medida exceda de 100 kilowatts, el usuario deberá solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa H-M. De no hacerlo, al tercer mes consecutivo en que exceda la demanda de 100 kilowatts, será reclasificado por el suministrador en la tarifa H-M, notificando al usuario.

### II.3.3.4 TARIFA HM

Esta tarifa contempla un periodo de facturación de 30 días, se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, corresponde a una tarifa horaria para servicio general en media tensión, con demanda máxima superior a 100 KW.

Se calcula en base a:



- **Cargo por demanda facturable** = Costo por kW facturable \* Demanda facturable registrada.  
 $\$ 90.63$  por cada kW de demanda facturable
- **Cargo por energía consumida en punta** = Costo por kWh de punta \* Consumo registrado en kWh.  
 $\$ 1.7124$  por cada kWh de energía consumida en punta
- **Cargo por energía consumida en base** = Costo por kWh de base \* Consumo registrado en kWh.  
 $\$ 0.4576$  por cada kWh de energía consumida en base
- **Cargo por energía consumida intermedia** = Costo por kWh intermedia \* Consumo registrado en kWh.  
 $\$ 0.5478$  por cada kWh de energía consumida en intermedia
- **Cargo por medición en baja tensión** = (Cargo por demanda facturable + Cargos por energía consumida) \* 0.02.
- **Cargo o bonificación por factor de potencia** = Se calcula de la misma forma que en la tarifa 03.

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de 100 kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, sólo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

Demanda Facturable para Tarifas Horarias.

La demanda facturable es función de la demanda máxima medida en las puntas de la curva, intermedia y base.

Para calcularla se aplica la siguiente ecuación:

$$DF = DP + FRI * \text{MAX}(DI - DP, 0) + FRB * \text{MAX}(DB - DPI, 0) \dots (1)$$

donde:

DP es la demanda máxima medida en el período Punta.

DI es la demanda máxima medida en el período Intermedio.

DB es la demanda máxima medida en el período Base.

DPI es la demanda máxima medida en los períodos Punta e intermedio.

MAX significa máximo, es decir, cuando la diferencia sea negativa se tomará cero.

FRI y FRB son factores de reducción para el periodo intermedio y base respectivamente su valor depende de la tarifa y región en cuestión.

|            |            |
|------------|------------|
| <b>FRI</b> | <b>FRB</b> |
| 0.300      | 0.150      |

Las demandas máximas se determinan en los distintos periodos mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda media en kiloWatts (kW) durante cualquier intervalo de 15 minutos. El registrado será el mayor valor de todos los intervalos de 15 minutos durante el mes facturado. Cualquier fracción de kW de demanda facturable se toma como kW completo.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Períodos base, intermedio y punta.**

Para la Región Central, donde se encuentra la Ciudad de México, estos periodos se definen para distintas temporadas del año, como a continuación se describe.

**TABLA II.4 TEMPORADAS TARIFA H-M REGIÓN CENTRAL**

| <b>DEL 1<sup>ER</sup> DOMINGO DE ABRIL AL SÁBADO ANTERIOR AL ÚLTIMO DOMINGO DE OCTUBRE</b> |             |                             |              |
|--|-------------|-----------------------------|--------------|
| <b>DÍA DE LA SEMANA</b>  | <b>BASE</b> | <b>INTERMEDIA</b>           | <b>PUNTA</b> |
| Lunes a Viernes  | 0 – 6 hrs.  | 6 – 20 hrs.<br>22 – 24 hrs. | 20 – 22 hrs. |
| Sábados  | 0 – 7 hrs.  | 7 – 24 hrs.                 |              |
| Domingos y festivos  | 0 – 19 hrs. | 19 – 24 hrs.                |              |
| <b>RESTO DEL AÑO</b>   |             |                             |              |
| Lunes a Viernes  | 0 – 6 hrs.  | 6 – 18 hrs.<br>22 – 24 hrs. | 18 – 22 hrs. |
| Sábados  | 0 – 8 hrs.  | 8 – 19 hrs.<br>21 – 24 hrs. | 19 – 21 hrs. |
| Domingos y festivos  | 0 – 18 hrs. | 18 – 24 hrs.                |              |

Cuando el usuario mantenga durante 12 meses consecutivos valores de DP, DI y DB inferiores a 100 kilowatts, podrá solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa O-M.

**TARIFAS DE RESPALDO**

Se aplican a los usuarios que sean autogeneradores de electricidad y que de acuerdo a sus características soliciten un servicio de energía eléctrica para respaldar su suministro.

**NOTA: PARA TODOS LOS CASOS, EL COSTO DE LA TARIFA ES EL DETERMINADO POR C.F.E. EN LA REGIÓN CENTRAL DEL PAIS Y LAS CUOTAS SON APPLICABLES PARA EL MES DE MAYO DE 2003, LA CUAL ABARCA ALGUNOS MUNICIPIOS DEL ESTADOS DE MÉXICO, CUERNAVACA, MOR. Y EL DISTRITO FEDERAL.**

**II.4 DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO**

Existe una forma difícil de detectar, mediante la cual se puede estar perdiendo energía y dinero en la empresa, esta energía no se aprovecha en equipos, iluminación, aire acondicionado, ni nada parecido, se fuga a través de equipo en mal estado, o instalaciones defectuosas y lo peor es que usted la tiene que pagar sin consumirla.

Si usted detecta estas fugas de energía eléctrica, puede ahorrarse mucho dinero.

Existen métodos sencillos para localizar estas fugas, tal como lo ejemplificamos en la siguiente prueba:

- 1) Desconecte todos los equipos que consuman energía eléctrica, aún el transformador del timbre, en caso de que exista.



- 2) Revise que no quede equipo o lámpara conectada o encendida.
- 3) Observe el disco de su medidor de energía eléctrica. De existir alguna fuga, el disco del medidor seguirá girando.

De existir fugas, necesitará revisar toda la instalación eléctrica en busca de conductores mal aislados.

Si las instalaciones eléctricas son viejas, o tienen muchas reparaciones, o aún conductores expuestos a la intemperie, *es muy probable que se le este fugando el dinero.*

Si se desea hacer un examen más a fondo y provechoso del estado de las instalaciones y equipo eléctrico, así como de la forma en que estos están consumiendo la energía eléctrica, se tendrá que recurrir a un **Diagnóstico Energético.**

Un diagnóstico debe de partir de una serie de indicios, que intervienen en la formación de un criterio acerca de la situación actual de las instalaciones.

Se tiene una serie de parámetros que nos ayudan a predecir la condición del sistema eléctrico y de nuestros equipos eléctricos, los cuales enlistamos a continuación, y que sabemos nunca actúan solos, sino en conjunto, lo que indica que uno solo no indica gran cosa.

- FACTOR DE POTENCIA
- FACTOR DE DEMANDA
- FACTOR DE UTILIZACION
- FACTOR DE CARGA
- FACTOR DE PERDIDAS
- FACTOR DE DIVERSIDAD
- FACTOR DE COINCIDENCIA

Estos son una serie de datos que a través del tiempo se deben ir recopilando y van marcando el comportamiento de cómo gastamos nuestra energía.

Los factores eléctricos y que intervienen en un diagnóstico, son valores expresados en por unidad (referidos a un valor común) y son indicadores de la forma en que se esta empleando la energía eléctrica y las instalaciones eléctricas del usuario.

#### II.4.1.1 FACTOR DE POTENCIA ( $F_{POT}$ )

La potencia es el producto de la corriente que fluye por el circuito por el voltaje sostenido. La corriente requerida por motores de inducción, transformadores, alumbrado fluorescente, hornos de inducción, soldadoras de resistencia, está formado por dos tipos de corriente:

- 1) Corriente efectiva, es aquella que se convierte en trabajo útil por la acción del equipo (la rotación de un motor, la ejecución de un cordón de soldadura, etc.). Esta corriente da como resultado la potencia activa o real medida en kW.
- 2) Corriente magnetizante, o reactiva, es aquella que se encarga de producir el flujo magnético necesario para la operación de aparatos de inducción. Esta corriente da como resultado la potencia reactiva expresada en kVAR.

La corriente total de un circuito se puede expresar como la suma vectorial de la corriente activa y reactiva:

$$I = I_R + jI_Q \dots (2)$$

Así mismo la potencia y la energía consumida derivadas de esta corriente, tendrá una parte activa y una reactiva:

$$S = P + jQ \text{ [ VA ] } \dots (3)$$

$$E = E_R + jE_Q \text{ [ VA ] } \dots (4)$$

La energía eléctrica de un circuito de corriente alterna será la suma vectorial de su parte activa y su parte reactiva.

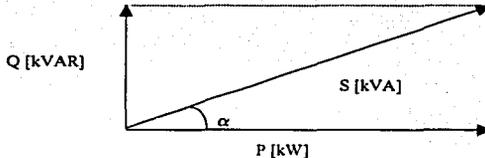


FIGURA II.6 Diagrama de potencias

Del diagrama se aprecia el ángulo  $\alpha$  formado por P y S, el coseno de  $\alpha$  es el llamado factor de potencia, de tal modo que, este se obtiene dividiendo la potencia activa o real en kW, entre la potencia aparente en kVA, siendo 1.00 el máximo factor de potencia posible.

$$F_{POT} = P_{REAL} / P_{APARENTE} \geq 1.00 \dots (5)$$

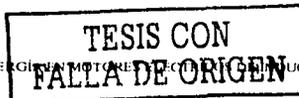
El factor de potencia es muy importante porque al enviar potencia a un consumidor, se debe transmitir una mayor corriente (con los gastos que esto implica) a un consumidor con bajo factor de potencia, que a otro con mas alto factor de potencia.

#### II.4.1.2 FACTOR DE DEMANDA ( $F_{DEM}$ )

El  $F_{DEM}$  en un intervalo de tiempo dado, de un sistema o de una carga, esta definido como la relación de la demanda máxima promedio de ese intervalo y la carga conectada del sistema (La cual es la suma de todas las potencias nominales de los equipos que constituyen la carga del usuario).

$$F_{DEM} = D_{MAXIMA} / P_{CONECTADA} \leq 1.00 \dots (6)$$

Este factor nos indica que porcentaje de la carga conectada participa en la demanda máxima.



### II.4.1.3 FACTOR DE UTILIZACIÓN ( $F_U$ )

Es la relación que existe entre la demanda máxima y la capacidad nominal de ese sistema.

$$F_U = D_{\text{MAXIMA}} / \text{CAP}_{\text{NOMINAL}} \leq 1.00 \dots (7)$$

La capacidad nominal del sistema del usuario puede ser distinta a la carga instalada. Por ejemplo, tenemos un transformador de la subestación, de 75 kVA's, y su red interna está diseñada para conducir hasta 75 kVA's, es decir, su capacidad nominal es de 75 kVA's, su carga instalada en ese momento es de 68 kVA. En cierto mes encontramos en el recibo de CFE como demanda máxima 59 kVA, con un factor de potencia de 0.91 en promedio, de donde deducimos que se demandaron 64.83 kVA's. De los 68 kVA's instalados, sólo ocupamos en el mes aproximadamente 65 kVA's como máximo.

El  $F_U$  indica cuanta de la Capacidad Nominal, se emplea durante la demanda máxima de todo el sistema.

### II.4.1.4 FACTOR DE CARGA ( $F_C$ )

Es la relación que existe entre la demanda media o promedio y la demanda máxima, ambas en un cierto intervalo de tiempo.

$$F_C = D_{\text{MEDIA}} / D_{\text{MAXIMA}} \dots (8)$$

$$; 0 \leq F_C < 1$$

La demanda media es un promedio de la demanda que requiere de la red de alimentación. Se calcula a partir del consumo registrado durante un periodo determinado entre el valor de ese periodo.

$$D_{\text{MEDIA}} = \text{kWH}_{\Delta t} / \Delta t \dots (9)$$

$\Delta t$ : Periodo

$\text{kWH}_{\Delta t}$ : Consumo en  $\Delta t$

Implícitamente este factor nos da la *eficiencia* del sistema. En la práctica este fluctúa entre el 25% en el peor de los casos, y el 85% en el mejor de los casos.

El  $F_C$  indica el grado con que se mantiene el valor de la potencia máxima demandada por el sistema.

### II.4.1.5 FACTOR DE PÉRDIDAS ( $F_{\text{PER}}$ )

Es la relación existente entre el valor promedio de las pérdidas a lo largo de un intervalo de tiempo y el valor propio de las pérdidas durante el periodo de la demanda máxima. De la siguiente manera podemos calcular este factor:

$$F_{\text{PER}} = 0.3 F_C + 0.7 F_C^2 \dots (10)$$

El  $F_{\text{PER}}$  indica el valor con que se mantiene el valor de las pérdidas que se presentan en la demanda máxima del sistema a lo largo de un periodo.

**II.4.1.6 FACTOR DE DIVERSIDAD ( $F_{DIV}$ )**

El factor de diversidad es la relación que existe entre la sumatoria de las demandas máximas individuales (por cada carga en forma individual) del sistema y la demanda global de dicho sistema. Hay que tomar en cuenta que existe una diversidad en el empleo de las cargas, es decir, que unas entran y otras salen a cada momento.

$$F_{DIV} = \Sigma D_{MAX}^i / D_{MAX\ SISTEMA} \geq 1 \dots (11)$$

$\Sigma D_{MAX}^i$  : Suma algebraica de las cargas hasta  $i$ 'ésima.

$D_{MAX\ SISTEMA}$  : Demanda máxima global del sistema.

El  $F_{DIV}$  indica como difieren las demandas máximas de cargas individuales del sistema de la de todo el sistema.

**II.4.1.7 FACTOR DE COINCIDENCIA ( $F_{COIN}$ )**

Se define como el inverso del factor de diversidad.

$$F_{COIN} = D_{MAX\ SISTEMA} / \Sigma D_{MAX}^i \leq 1 \dots (12)$$

El  $F_{COIN}$  indica el grado de dispersión con que operan las distintas cargas en el tiempo.

Todos estos factores en conjunto, nos van a indicar el buen o mal estado de nuestro sistema eléctrico, por lo que es muy importante tenerlos dentro de los márgenes indicados anteriormente, de esta forma nuestro diagnóstico energético sería aceptable.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO III



## EL MOTOR DE INDUCCIÓN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO III

### EL MOTOR DE INDUCCIÓN

#### III. 1 ANTECEDENTES

El motor de inducción tipo jaula de ardilla es el motor eléctrico por excelencia. Es el motor relativamente más barato, eficiente, compacto y de fácil construcción y mantenimiento. Por ello concentraremos todos nuestros esfuerzos en explicar su principio de construcción, sus conceptos básicos, así como las leyes físicas que rigen su operación para lograr una comprensión amplia de esta.

#### III.2 DEFINICIÓN DE MOTOR DE INDUCCIÓN

Los motores de inducción son dispositivos que transforman energía eléctrica (en la modalidad de corriente alterna), en energía mecánica (en la modalidad de movimiento rotatorio).

La medición de la energía, tanto eléctrica como mecánica se suele hacer en la unidad de tiempo, o sea, con base en el concepto de potencia.

La potencia eléctrica tiene como componentes, la tensión, la intensidad de corriente y el factor de potencia que depende del defasamiento entre las ondas de tensión y corriente.

$$\text{para una fase } P_e = VI \cos \theta \dots (1)$$

$$\text{para tres fases } P_e = \sqrt{3} VI \cos \theta \dots (2)$$

La potencia se mide en watts, la tensión en volts y la intensidad de corriente en amperes. El factor de potencia  $\cos \theta$  es adimensional.

En el movimiento rotatorio, la potencia mecánica tiene como componentes el momento (o par) y la velocidad angular.

$$P_m = T \omega \dots (3)$$

En el Sistema Internacional de Unidades, la potencia se mide en watts, el par en newton-metro y la velocidad angular en radianes por segundo. La fórmula no requiere de constantes de conversión de unidades. No obstante, en el ramo de motores de inducción existen todavía algunas normas de prueba que usan las unidades empíricas que estableció la costumbre, antes de la aceptación de un sistema internacional de unidades.

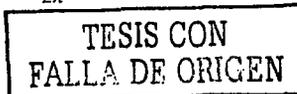
El caballo-potencia CP, (más conocido por su denominación en el idioma inglés **horse power, HP**).

$$1 \text{ CP} = 1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

El kilogramo-metro. Se refiere al kilogramo fuerza del sistema técnico (no el sistema internacional). El kilogramo-metro es una unidad de par (1 Kg-m = 9.81 N-m).

Las revoluciones por minuto. Es la unidad de velocidad angular, simbolizada con N.

$$\text{RPM} = \omega \frac{60}{2\pi} \dots (4)$$



La conversión de energía en un motor de inducción se ilustra en la figura III.1 Aunque las máquinas eléctricas son reversibles y el motor de inducción no es una excepción, el trabajo usual en este caso es en la modalidad de motor. El flujo de energía en la figura es por tanto de izquierda a derecha.



FIGURA III.1 Conversión de energía en un motor de inducción.

### III.3 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

#### III.3.1 SISTEMA LINEAL

Supóngase que se tiene de un conjunto infinito de polos magnéticos en movimiento y barras de cobre apoyadas sobre una superficie así como se muestra en la figura III.2

El conjunto de polos se mueve a una velocidad  $V_s$ , por encima de las barras inmóviles.

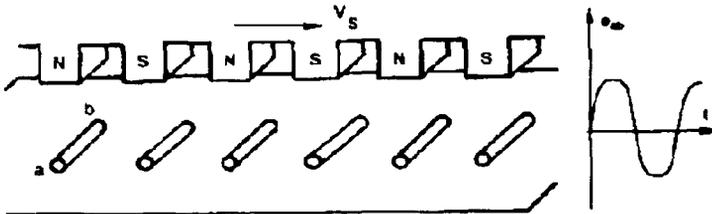


FIG. III.2 Movimiento del sistema de polos sobre un sistema de barras

De acuerdo a la *Ley de Faraday de Inducción Electromagnética*, la cual enuncia que: *Una fuerza electromotriz (fem) o tensión e es inducida o provocada entre los extremos de un material cuando existe un flujo magnético variable asociado con dicho material. Si el medio es un conductor de electricidad y forma una trayectoria cerrada o circuito, una corriente fluye en él debido a la tensión inducida. La magnitud de la tensión inducida es proporcional a la velocidad con que varía en el tiempo el campo magnético en ese punto.*

Entre los extremos de cada una de las barras aparece una tensión de c.a., provocada por el campo magnético variable (polos en movimiento).

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Si ahora se cortocircuitaran las barras, como se muestra en la figura III.3, al haber una tensión o *fem*, entre los extremos, se está formando un circuito eléctrico y, por lo tanto, circulará corriente eléctrica a lo largo del circuito formado con las barras.

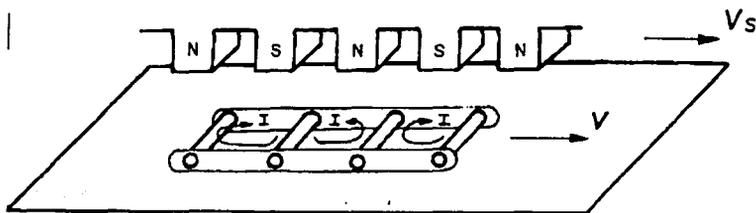


FIG. III.3 Movimiento del sistema de polos sobre un sistema de barras cortocircuitadas.

la corriente eléctrica inducida en el circuito circulará generando polos magnéticos dispuestos en tal forma que se crea un campo magnético alrededor del conductor; dicho campo provoca una corriente de sentido opuesto a la que la provocó, este campo tiende a oponerse al movimiento del conjunto de polos infinitos, con velocidad  $V_s$ . *Esto es la Ley de Lenz, la cual enuncia que cuando un cambio en la naturaleza es provocado este debe ser tal que se opone al cambio que lo ocasiona.* En todos los casos de inducción electromagnética la *ley de Lenz*, nos ayuda a determinar el sentido o dirección de la fem inducida y de la corriente, *el sentido de la fem inducida es tal, que ocasiona el flujo de una corriente en un circuito con una dirección tal que la corriente tiende a contrarrestar el cambio que la produce.*

Una de las relaciones de Fleming conocida como *La regla de la mano derecha* para motores refuerza esta teoría, e indica la dirección en la cual un conductor con corriente se moverá en un campo magnético.

*Cuando el índice señala en dirección de las líneas de campo magnético y el dedo medio se alinea en el sentido convencional de la corriente, el pulgar señalará la dirección hacia donde se mueve el conductor.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

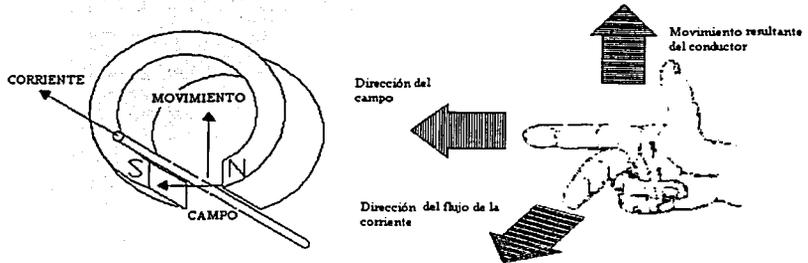


FIG. III.4 Regla de la mano derecha

La ley de la fuerza resultante que se opone al movimiento sobre un conductor dentro de un campo magnético, y que cuantifica a la ley de Lenz, se le denominó como la *Ley de Biot y Savart*. Esta relaciona el campo magnético por una unidad de área (B), la longitud del conductor que se encuentra dentro del campo magnético (designada por L) y la corriente (I), la cual produce en conjunto una fuerza que se expresa como:

$$F = B \times I \times L \dots (5)$$

Donde:

B= Número de líneas/cm<sup>2</sup>

I= Corriente en el conductor

L= longitud del conductor en el campo

La regla de la mano derecha de Fleming, relaciona la dirección del flujo magnético, la dirección del movimiento y la dirección de la tensión inducida resultante. Existe también una relación similar mutuamente ortogonal (perpendicular entre sí) entre la dirección del campo magnético o flujo, la dirección de la tensión aplicada y la corriente, así como la dirección de la fuerza magnética resultante o acción del motor.

*La regla de la mano izquierda establece esta relación, si se coloca el dedo índice en la dirección del flujo de norte a sur y se fija la posición del dedo medio en la dirección de la tensión aplicada y de la corriente resultante. En estas condiciones el dedo pulgar apunta en la dirección de la fuerza que esta desarrollada por la ley de Biot Savart*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

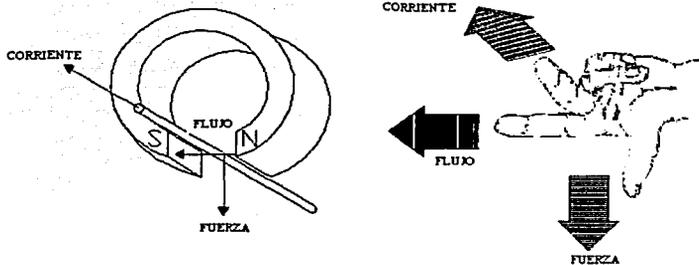


FIGURA III.5 Regla de la mano izquierda

Continuando con el ejemplo de las barras, la interacción entre ambos campos ocasionara fuerzas de repulsión entre ellos, lo cual originará, si el efecto del rozamiento entre el sistema de barras y la superficie es muy débil, que este último pueda avanzar.

La velocidad ( $V$ ) que alcancen las barras será cercana, aunque siempre menor, que la velocidad ( $V_S$ ) del conjunto de polos. Puede notarse que si el sistema de barras avanzarse a la misma velocidad que el conjunto de polos, entonces la variación de velocidad relativa entre polos y barras, y por lo tanto, del campo magnético sería nula, y si ésta fuera nula, no se generaría ninguna *fem*, no circularía corriente en las barras, no se crearían polos magnéticos opositores y las barras tenderían a detenerse.

Si las barras arrastraran un peso como el mostrado en la figura III.6, al aumentar el efecto del rozamiento, disminuirá la velocidad a la que se mueve el sistema de barras, aumentaría la diferencia relativa de velocidad y por lo tanto, de la variación del campo magnético, aumentaría la corriente en las barras y aumentaría el efecto opositor de las barras contra el conjunto de polos magnéticos.

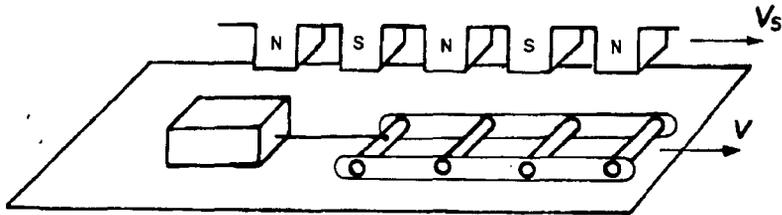


FIG. III.6 El sistema arrastra un peso

Si el peso a arrastrar fuera excesivo, el sistema de barras se mantendrán fijo, la diferencia relativa de velocidades sería la mayor posible, lo mismo que la corriente en las barras.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.3.2 SISTEMA GIRATORIO

Spongamos ahora que el sistema de polos infinitos y las barras se acortan y se cierran sobre si mismos, como se muestra en la figura III.7. Las barras formarán un sistema similar a una jaula de las utilizadas para que pequeños animales como ardillas o ratones puedan correr en ambientes reducidos.

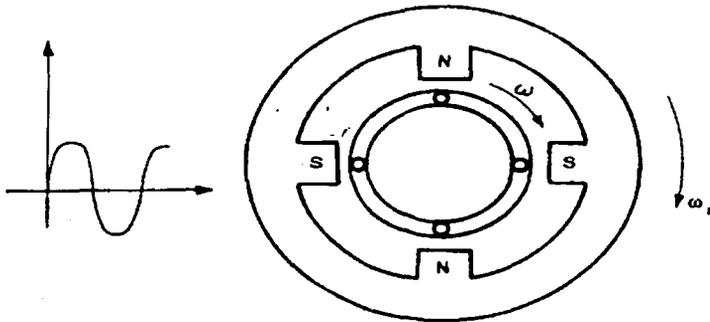


FIG. III.7 Sistema giratorio.

Si los polos magnéticos giran a una velocidad  $V_s$ , debido a la velocidad relativa y la variación del campo magnético, aparecerá una *fem* en las barras cortocircuitadas, esta fuerza electromotriz originará corrientes eléctricas, según la *Ley de Faraday*. Las corrientes crearán polos magnéticos opuestos al movimiento de los polos magnéticos exteriores lo que crea una fuerza en sentido inverso en la jaula de ardilla, según la *Ley de Lenz*, al haber repulsión y no haber oposición, la jaula girará libremente a una velocidad ( $\omega$ ) cercana aunque como ya se menciona antes, menor que la velocidad externa ( $\omega_s$ ).

En un motor de inducción esto es lo que sucede y este es el principio por el cual se mueve.

Si la jaula de ardilla no está conectada a ninguna carga, esta girará en vacío. Si se conecta alguna carga (por ejemplo un ventilador), la velocidad del motor disminuirá y las corrientes eléctricas aumentarán. Si se consiguiera detener totalmente al motor, el movimiento relativo entre los polos exteriores y la jaula alcanzaría el mayor posible y lo mismo ocurrirá con las corrientes eléctricas en el motor.

Además, conviene hacer notar que si la jaula está alojada en un motor de material ferromagnético, las pérdidas de flujo magnético reducen y aumentan las propiedades eléctricas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.3.3 MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO

Evidentemente no se tiene que hacer girar a los polos exteriores con la intención de hacer girar a un motor y la anterior explicación ha sido una nueva aproximación.

Supongamos ahora que en lugar de obligar a girar a los polos, se provoca un flujo magnético variable mediante la generación de los polos aplicando corriente eléctrica alterna, ahora se tendría estática la parte de los polos le llamamos *estator* y la parte de la jaula de ardilla sería móvil, le llamamos *rotor*, como se muestra en la figura III.8.

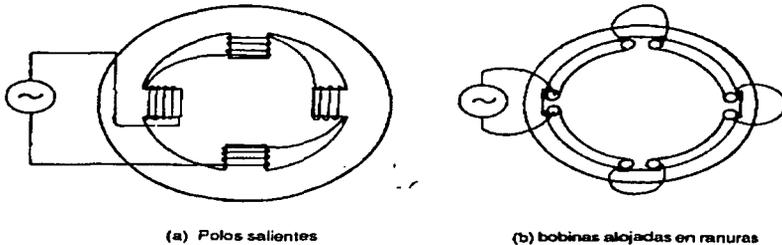


FIG. III.8 Motor de inducción monofásico

Se observa que hay cuatro polos magnéticos cuyos valores y sentidos de flujo magnético se alteran debido a la acción de corriente alterna y se genera un efecto algo similar que en el caso anterior, cuando se hace girar a los polos externos.

Los cuatro polos pueden formarse de acuerdo a la figura III.8 a) o de acuerdo a la III.8 b). El segundo caso será más común que el primero.

La magnitud de la tensión y la variación del sentido de la corriente aplicado a las bobinas de los polos (en el estator), originan una variación de flujo magnético que a su vez origina la aparición de corrientes inducidas en el rotor.

Si se carga el motor obligándolo a realizar algún trabajo, la velocidad del motor disminuirá, aumentará la corriente en el rotor además aumentará la corriente en el bobinado del estator. Es raro que las barras de la jaula se dañen por el exceso de corriente, siendo más común que el bobinado del estator sea el que hay que reparar o rebobinar cuando el motor "se quema".

### III.3.4 MOTOR DE INDUCCION TRIFASICO

Un problema con los motores monofásicos, es que precisan de un sistema para arrancar. En el caso de un motor de una sola fase, puede notarse que los polos no giran uniformemente, sino que su magnitud varía alternadamente a lo largo del eje principal. Por lo anterior, existen motores con arranque con condensador, motores con resistencias de arranque, motores de polos sombreados, etc.

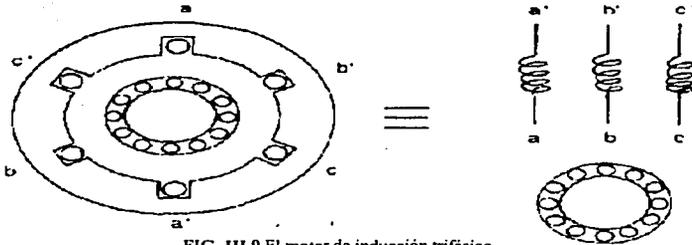


FIG. III.9 El motor de inducción trifásico

Sin embargo, en el caso de los motores trifásicos, la interacción entre los campos magnéticos variables en las tres fases genera la aparición de un campo magnético de módulo constante aunque giratorio en el espacio. El estator tiene 3 bobinas cuyos ejes están desplazados  $120^\circ$  (para un motor de 2 polos).

Por lo general en la industria se trabaja con *motores de inducción trifásicos*.

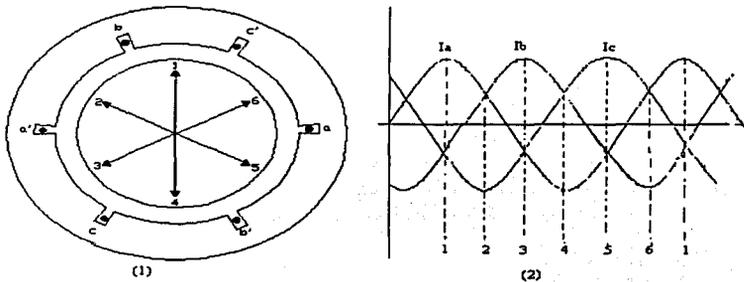


FIGURA III.10

- (1) Desarrollo del flujo giratorio de estator embobinado de dos polos y flujo.
- (2) Sistema trifásico de corriente

De la figura anterior se puede demostrar que 3 corrientes desplazadas  $120^\circ$  en el tiempo entre sí, y que alimentan 3 bobinas  $120^\circ$  en el espacio, producen flujo rotatorio constante de valor  $3/2 I_{max}$  o  $3/2 I_{FR}$ , a la velocidad de la frecuencia aplicada, en este caso, 60 Hz.

### III.3.5 MÁQUINAS MULTIPOLARES

Para las figuras III.9, una fase cualquiera, como por ejemplo la espira a-a' induce un flujo que sale del núcleo de armadura por la parte inferior (lo que determina un polo norte), atraviesa el rotor y penetra nuevamente al núcleo de armadura por la parte superior (en donde se define un polo sur). Se trata de una armadura bipolar.

Supóngase ahora, esta misma fase alojada en cuatro ranuras como se muestra en la figura III.11 (1) en vez de una espira diametral habría que colocar 4 espiras a 90°.

En un tiempo como el instante 1 de la figura III.11, la corriente entra por las cuatro terminales a y sale por las cuatro a', definiendo los sentidos y trayectorias de flujo mostradas. Se forman dos polos norte y dos polos sur, por lo que la máquina será tetrapolar. En un recorrido por la periferia, los polos siempre aparecen alternados N-S-N-S.

Las otras dos fases, b-b' y c-c', se intercalan con la a-a' de manera similar a como se hizo en la máquina bipolar. No se ilustra en la figura para simplificar el dibujo.

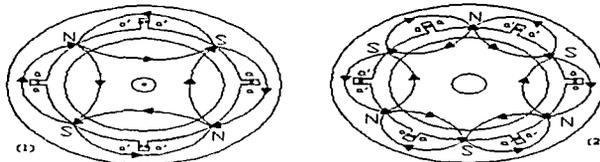


FIGURA III.11 Máquinas tetrapolar y hexapolar

Para que un polo norte se desplace hasta ocupar el lugar que ahora tiene el sur, se requieren 90° geométricos y medio ciclo de corriente (180° eléctricos), y en un ciclo corriente (360° eléctricos) el flujo solamente habrá girado media vuelta (180° geométricos).

## III.4 CONCEPTOS BÁSICOS DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

### III.4.1 VELOCIDAD SÍNCRONA

La velocidad geométrica, (propriadamente llamada velocidad síncrona o del estator), es, por lo mostrado en la sección anterior, la mitad de la velocidad eléctrica;

$$\omega = 2\pi f \dots (6)$$

de modo que:

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{2} \dots (7) \quad \text{o} \quad N_s = \frac{60f}{2} \dots (8)$$

para el caso de cuatro polos.

\*el número 60 es el número de ciclos en una fuente de 60 Hz.

En la máquina de 6 polos ilustrada en la figura III.11, cada fase consta de 6 bobinas alojadas en 6 ranuras a 60°. Siguiendo un razonamiento semejante al que se desarrolló para la máquina tetrapolar se concluye que en un ciclo (360° eléctricos) el flujo solamente gira un tercio de vuelta. La velocidad síncrona es la tercera parte de la velocidad eléctrica.

De lo anterior se deduce que, para cualquier máquina de C.A.

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{P} \dots (7') \quad \text{y} \quad N_s = \frac{60f}{P} \dots (8')$$

en donde P es el número de polos. Simplificando (7') y (8') queda finalmente.

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{P} \text{ rad/s} \dots (9)$$

$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ RPM} \dots (10)$$

Estas son las ecuaciones de sincronismo, pues establecen las relaciones entre velocidades síncronas y frecuencias, según el número de polos.

TABLA III.1 VELOCIDADES SÍNCRONAS

| VELOCIDADES SÍNCRONAS A 60 HZ |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| P                             | N <sub>s</sub> (RPM) |
| 2                             | 3600                 |
| 4                             | 1800                 |
| 6                             | 1200                 |
| 8                             | 900                  |
| 10                            | 720                  |
| 12                            | 600                  |
| ...                           | ...                  |
| 48                            | 150                  |
| 60                            | 120                  |

### III.4.2 DESLIZAMIENTO

Se ha explicado cómo, por medio de la inducción, el movimiento rotatorio, producido eléctricamente, del campo magnético del estator ha originado la rotación mecánica del rotor, la cual sigue la misma dirección que el campo del estator. Si no existiera carga en el motor, ni fricción o resistencia al movimiento, cabría pensar que la velocidad del motor ascendería a la velocidad síncrona del campo magnético rotatorio. Sin embargo, si el rotor girara exactamente a esa velocidad, no existiría diferencia relativa de movimiento entre campo y rotor, las barras de cobre en el rotor no cortarían el flujo del campo y tampoco habría corriente inducida en el rotor. Sin inducción, el rotor perdería su propio campo magnético y no se produciría par.

Para que el motor de inducción funcione, el rotor deberá girar a una velocidad diferente de la del campo rotatorio del estator. En realidad la velocidad del rotor es ligeramente menor que la rotación del campo. Esta diferencia se conoce como *deslizamiento*.

$$S = \omega_s - \omega_r \dots (11)$$

En la teoría del motor se considera que es el rotor el que se desliza con relación a la velocidad síncrona. Se da el nombre de *deslizamiento* a la fracción de velocidad síncrona que pierde el rotor cuando trabaja con carga. Se acostumbra definirlo en porcentaje:

$$\% S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \dots (12)$$

en donde:

S es el deslizamiento

N<sub>s</sub> es la velocidad síncrona

N<sub>r</sub> es la velocidad del rotor.

En los motores prácticos, los rotores funcionan a una velocidad de 2 a 10% menor que la velocidad síncrona sin carga, al aumentar la carga, el porcentaje de deslizamiento aumenta.

Aumentando la carga se reduce la velocidad del rotor y esta hace que el campo magnético corte los conductores del rotor más rápidamente y que, por lo tanto, se produzca en el motor la corriente inducida más intensa necesaria para mantener el par motor que ha aumentado con la carga mayor.

Si por alguna razón el rotor se detiene, el deslizamiento es 100%, la fem en el rotor  $E_r$  (inducida en cada barra del rotor) es igual a la fuerza contraelectromotriz, por conductor, en el estator. Si se conoce el valor de la tensión del rotor; en esas condiciones la tensión a cualquier deslizamiento  $S$  será :

$$E_r = S E_{rb} \dots (13)$$

$E_{rb}$  = Tensión a rotor bloqueado

$E_r$  = Tensión inducida en cada barra del rotor

En forma parecida puede concluirse que la frecuencia en el rotor a cualquier deslizamiento  $S$ , como la función de la frecuencia ( $f$ ) de alimentación es:  $f_r = S f \dots (14)$

Tanto la magnitud de la fem inducida como su frecuencia, son funciones del deslizamiento. En efecto, cuando el motor no tiene movimiento (rotor bloqueado) el deslizamiento es igual a la unidad, la frecuencia  $f_{rb} = f_r$ , mientras que si el rotor adquiere la velocidad sincrona el deslizamiento es cero, no se cruzan las líneas de flujo con las barras de la jaula, la fuerza electromotriz  $E_r = 0$  y la  $f_r = 0$ .

### III.4.3 VELOCIDAD DEL ROTOR

Esta es una característica muy útil entre las diversas respuesta que da el motor, aunque no se obtiene del análisis del circuito, pues basta sólo conocer el deslizamiento.

Despejando la velocidad de rotor de la fórmula de deslizamiento, se obtiene.

$$N_r = N_s (1-S) \dots (15)$$

### III.4.4 PAR Y POTENCIA

El término par motor se refiere al esfuerzo giratorio que se necesita para mover al motor y su carga. Cabe mencionar que cuando se tiene el motor sin movimiento, el par requerido para mover la carga y el propio motor, es mayor que cuando se tiene la velocidad nominal, puesto que el esfuerzo realizado tiene que vencer la inercia inicial de la carga y este esfuerzo tiene que ser más grande que cuando la máquina ya tiene una inercia o está en movimiento. El par, también llamado torque, es una medida del trabajo mecánico y que tiene la particularidad de desarrollarse en forma radial. El par que el motor debe desarrollar está dado por las características mecánicas de la carga a la que se va a impulsar. Se mide y se expresa en (Nm). Un par de 20 Nm, es igual al esfuerzo de tracción de 20 Newtons, aplicado a un radio de un metro.

Hay que aclarar que la potencia y el par son dos valores diferentes, mientras que el par es un sistema formado por dos fuerzas que obran sobre líneas de acción paralelas, no colineales, que son de igual magnitud y de sentidos opuestos y además producen o impiden una rotación, la potencia se define como el trabajo realizado en la unidad de tiempo; ambas se relacionan y rigen, en cuanto a motores se refiere, por la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia (HP)} = \frac{\text{Par (Kg - m)} * \text{RPM}}{726} \dots (16)$$

### III.4.5 MÍNIMA VELOCIDAD PERMITIDA

Todos los motores llevan acoplados en su flecha un ventilador que aprovecha el giro del mismo para poder disipar calor por ventilación.

Se requiere conocer la menor velocidad permisible en el motor especificada en sus hojas de datos, para evitar el sobrecalentamiento de sus aislamientos debido a una baja velocidad en la flecha que acarree una deficiente ventilación.

El valor de esta velocidad es inversamente proporcional a la calidad de los aislamientos se podrá tener una velocidad de operación más baja.

Entiéndase en este sentido como calidad no a la rigidez dieléctrica de los aislantes, sino a la resistencia al calor, ya que aún los barnices más sencillos presentan una alta rigidez dieléctrica, no así una alta resistencia al calor.

### III.4.6 TEMPERATURA DE OPERACIÓN.

La temperatura del ambiente donde se va a operar el motor es otro de los aspectos a considerarse para la conservación de la vida útil, además de influir directamente sobre su eficiencia.

Los datos indicados en la placa de datos muestran un valor, por lo general en grados centígrados, el cual indica la máxima temperatura ambiental recomendada a la cual el motor debe someterse.

### III.4.7 TIPO DE AISLAMIENTO.

Siguiendo con la idea del punto anterior, en cuanto a la calidad de los aislamientos tenemos que lo que nos interesa de ellos es su resistencia al calor, de ahí que estén normalizados en función de la temperatura a la cual comienzan a derretirse, teniéndose lo siguiente:

**TABLA III.2 CLASES DE AISLAMIENTO**

| <i>CLASE DE AISLAMIENTO</i> | <i>MÁXIMA TEMPERATURA</i> |
|-----------------------------|---------------------------|
| <i>A</i>                    | <i>105 °C</i>             |
| <i>B</i>                    | <i>130 °C</i>             |
| <i>C</i>                    | <i>155 °C</i>             |
| <i>D</i>                    | <i>180 °C</i>             |

En el ANEXO 2 A) se presentan los materiales utilizados en cada uno de los aislamientos.

### III.4.8 CORRIENTE DE LÍNEA

Esta corriente, tiene dos componentes que son la de magnetización (incluye también la de pérdidas mecánicas) y la de la carga.

$$I_r = I_m + I_c \dots (17)$$

y el resultado de la suma hay que transformarlo a la forma polar, con lo que se obtendría:

$$I_r = | I_r | \angle \theta \dots (17')$$

por último para obtener la corriente de línea:

si es circuito estrella.  $I_L = | I_r | \dots (18)$

si es circuito delta.  $I_L = \sqrt{3} | I_r | \dots (18')$

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

### III.4.9 POTENCIA MECANICA DE SALIDA

La potencia mecánica disponible en la flecha, o potencia de salida, se define como el trabajo por unidad de tiempo que se desarrolla en la flecha en forma radial, la cual se expresa como:

$$P_m = T_{\text{en flecha}} \omega \text{ [Watts]} \dots (19)$$

$$P_{\text{mec}} = 3I_c^2 R_c \dots (19')$$

$$P_{\text{SALIDA}} \text{ [Watts]} = 746 P_{\text{SALIDA}} \text{ [HP]} \dots (19'')$$

### III.4.10 POTENCIA, TENSION Y FRECUENCIA NOMINALES

La potencia nominal de un motor de inducción, es la carga que puede soportar continuamente sin calentarse en exceso.

A menos que se especifique otra cosa, la potencia nominal de los motores suele referirse a plena carga con una elevación de temperatura de 40 °C. La mayoría de los motores de inducción se construyen para soportar sobrecargas no mayores al 25% durante periodos de 2 horas con una elevación de temperatura no superior a 55 °C. En las placas de los motores se indica la potencia nominal en HP y el límite del aumento de temperatura.

Los motores ordinarios de inducción se construyen para que den una potencia nominal determinada de plena carga mientras la tensión no varíe en más de un 10% por debajo de lo normal

Los motores de inducción pueden desarrollar toda su potencia nominal en HP a frecuencias que no varíen en más de 5% por exceso o por defecto, con respecto a la frecuencia normalmente de 60 Hz.

La mayoría de los motores trifásicos de inducción se diseñan para tensiones nominales de 220, 440 y 550 volts, pero la mayoría de los motores que tienen potencia de varios cientos de caballos o más se diseñan de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA III.3 VOLTAJES, POTENCIAS Y FRECUENCIAS NOMINALES, NORMALMENTE ENCONTRADAS EN LOS MOTORES DE INDUCCIÓN.

| VOLTAJE NOMINAL [V] | POTENCIA NOMINAL [HP] | FRECUENCIA NOMINAL [Hz] |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| 220                 | ¼ a 10                | 60                      |
| 400                 | 10 a 250              | 60                      |
| 2400                | 250 a 1,500           | 60                      |
| 4160                | 1,500 a 6,000         | 60                      |
| 6000                | 6,000 a 10,000        | 60                      |

### III.4.11 CORRIENTE NOMINAL

La corriente nominal se refiere a la corriente absorbida por el motor operando a plena carga según placa de datos.

La intensidad de corriente aproximada de un motor trifásico puede calcularse aplicando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{HP * 746}{\sqrt{3} * V * \eta * FP} \dots (20)$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

donde:

I = Corriente nominal

$\eta$  = Eficiencia del motor

V = Tensión entre fases

HP = Caballos de potencia

FP = Factor de potencia

### III.4.12 EFICIENCIA

Se entiende por eficiencia la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. La potencia de salida es la potencia mecánica de la ecuación ( 19' ) y la potencia de entrada será de las tres fases:

$$P = 3V_f I_f \cos \theta \dots (21)$$

por tanto, la eficiencia se calcula como:

$$\text{Eficiencia } (\eta) = \frac{\text{Potencia Mecánica}}{\text{Potencia Eléctrica}} * 100 \dots (22)$$

$$\text{Eficiencia}(\eta) = \frac{0.746 * \text{HP salida}}{\text{kW entrada}} * 100 \dots (22')$$

$$\eta = \frac{I_c^2 R_c}{V_f I_f \cos \theta} * 100 \dots (22'')$$

La eficiencia es una consideración importante en la aplicación de accionamientos con motores eléctricos, especialmente en aquellos con gran cantidad de horas de servicio, donde el costo de operación del motor llega a ser, en mucho, superior a su precio de adquisición.

En términos de pérdidas también puede ser expresada como la potencia de entrada, menos la potencia de pérdidas, dividida entre la potencia de entrada.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{KW entrada} - \text{KW pérdidas}}{\text{KW entrada}} * 100 \dots (23)$$

### III.4.13 PÉRDIDAS

Las pérdidas consumen sólo una fracción de la potencia de entrada. En condiciones normales de tensión y frecuencia las pérdidas mecánicas y magnéticas se mantienen casi constantes independientemente de la carga impulsada; no así las pérdidas eléctricas e indeterminadas que varían con la potencia exigida en la

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

flecha del motor. La máxima eficiencia se obtiene cuando las pérdidas constantes son similares a las pérdidas variables. En los motores estándar de eficiencia normal, recientemente llamados *normalizados*, esto ocurre cuando operan entre el 75% y el 95% de su potencia nominal, disminuyendo claramente cuando la carga se incrementa y de manera importante si ésta se reduce.

Las pérdidas se pueden clasificar según el siguiente cuadro:

|                    |   |            |   |                              |
|--------------------|---|------------|---|------------------------------|
| MOTOR DE INDUCCIÓN | } | MECÁNICAS  | { | FRICCIÓN                     |
|                    |   |            |   | VENTILACIÓN                  |
|                    |   | MAGNÉTICAS | { | POR HISTÉRESIS               |
|                    |   |            |   | POR CORRIENTES PARÁSITAS     |
|                    |   | ELÉCTRICAS | { | POR RESISTENCIA              |
|                    |   |            |   | POR REACTANCIA DE DISPERSIÓN |

TABLA III.4 PÉRDIDAS TÍPICAS DE MOTORES DE INDUCCIÓN ESTANDAR

| TIPOS DE PÉRDIDAS        | MOTOR DE 25 H.P | MOTOR DE 50 H.P | MOTOR DE 100 H.P |
|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| I <sup>2</sup> R Estator | 42%             | 38%             | 28%              |
| I <sup>2</sup> R Rotor   | 21%             | 22%             | 18%              |
| Magnéticas               | 15%             | 20%             | 13%              |
| Mecánicas                | 7%              | 8%              | 14%              |
| Indeterminadas           | 15%             | 12%             | 27%              |
| TOTAL                    | 100%            | 100%            | 100%             |

Las pérdidas mecánicas se deben al giro del rotor. Estas pérdidas están presentes aunque la máquina gire en vacío, y son constantes e independientes de la carga.

Las pérdidas mecánicas y magnéticas tienen en común que están presentes ya sea en vacío o con carga, y son independientes de ésta.

- a) **PÉRDIDAS MAGNÉTICAS.** La pérdidas magnéticas se deben al giro de flujo de estator, desplazándose en el núcleo de la máquina.

**Pérdidas por histéresis.** También denominadas pérdidas en el núcleo, se producen por la variación de la dirección de la corriente alterna con lo que las moléculas del acero se magnetizan en direcciones opuestas sesenta veces en un segundo. Esta energía perdida se manifiesta en forma de calor. Se observa que al disminuir la corriente de excitación, el flujo desciende por una trayectoria superior, con corriente nula, el flujo conserva un pequeño valor, y con corriente negativa se genera la parte simétrica de la gráfica. Una corriente alterna hace variar el flujo según el perímetro de la figura, originando *el ciclo de histéresis*.

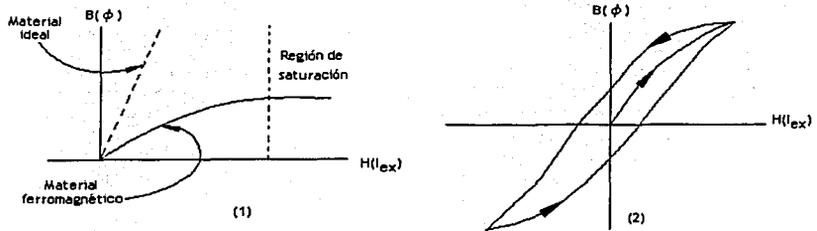


FIGURA III.12 Pérdidas por Histéresis

Esta corriente consta principalmente de una componente fundamental y una armónica de \*tercer orden (triple frecuencia).

**Pérdidas por corrientes parásitas.** Las corrientes parásitas se producen debido a que el núcleo es conductor de la electricidad. Como el flujo es variable en el tiempo, se induce una fem de acuerdo a la ley de Faraday, y a su vez producen corrientes circulantes en forma de remolino. Las corrientes reciben el nombre de *corrientes parásitas, corrientes de eddy o corrientes de Foucault*. Las pérdidas se producen debido al calentamiento del núcleo, y la energía pérdida se induce desde el estator.

- b) **PÉRDIDAS ELÉCTRICAS.** Las pérdidas eléctricas o pérdidas en el cobre se deben a las corrientes de carga del motor y a determinadas características de los embobinados, como son:

El material tiene una resistividad mayor que cero (cero sería el caso del material ideal).

Debe existir una separación entre las espiras del estator, las capas así como entre las bobinas, por la necesidad de interponer aislamientos.

**Pérdidas por resistencia.** El alambre con el cual se devanan las bobinas (usualmente de cobre), tienen una resistencia. La corriente que pasa por esta resistencia provoca pérdidas de voltaje (ocasionando que la fem no sea igual al voltaje externo) y pérdidas de energía (se calientan los devanados).

**Pérdidas por reactancia de dispersión.** La separación entre espiras y entre capas de las bobinas, y entre las propias bobinas, y el núcleo, permiten que se desarrollen líneas de flujo magnético fuera del núcleo, que cierran a través del aire. Estas líneas de flujo se originan por las fuertes corrientes de carga, reciben el nombre de flujo de dispersión. La corriente que circula por las barras y el circuito total del rotor crea un flujo local o disperso a su alrededor que representa una reactancia local (o de dispersión) cuyo valor, por ser proporcional a la frecuencia será también proporcional al deslizamiento.

- c) **PÉRDIDAS MECÁNICAS.** Se le llama así a la energía empleada por el motor para vencer la fricción en los rodamientos y la oposición del aire por el ventilador que proporciona enfriamiento al motor.
- d) **PÉRDIDAS INDETERMINADAS.** Se producen por las variaciones de flujo, provocadas a su vez por desbalanceo de corriente en la alimentación del motor. Estas pérdidas pueden llegar a ser de hasta 27% del total de las pérdidas del motor.

TABLA III.5 PORCENTAJES DE LAS PÉRDIDAS EN LOS MOTORES DEL TIPO INDUCCIÓN

| PÉRDIDAS       | VALORES TÍPICOS % | ELEMENTOS   | FACTORES QUE LAS AFECTAN                        |
|----------------|-------------------|---|---|
| MAGNÉTICAS     | 15 al 25          | Estator y Rotor                                     | Calidad y Cantidad del Acero                    |
| ELECTRICAS     | 15 al 40          | Estator y Rotor                                     | Calibre y Calidad de Conductor de los Devanados |
| MECÁNICAS      | 5 al 15           | Ventilador externo, Ventilador Interno, Rodamientos | Diseño y calidad de Materiales                  |
| INDETERMINADAS | 10 al 27          | Rotor, Estator, Ventilador, etc.                    | Diseño y Fabricación                            |

### III.4.14 PAR DE ARRANQUE, PAR A PLENA CARGA Y PAR MÁXIMO

Los valores más importantes que hay que tener en cuenta al elegir los motores de características apropiadas, deben ser *el par de arranque, el par a plena carga y el par máximo.*

El par a plena carga de un motor se toma como base, y el par de arranque y el máximo par, se comparan con el y se expresan en forma de porcentaje de este par.

Puesto que el par a plena carga sirve como base de comparación, es importante disponer de algún medio que permita determinar este par. El par de plena carga de un motor puede calcularse por medio de la fórmula siguiente:

$$T = \frac{716.5 * HP}{RPM} \dots (24)$$

Donde:

T= Par a plena carga

HP = Potencia nominal del motor en caballos de potencia

La constantes 716.5, se obtiene de la ecuación ( 25 ):

$$\frac{75Nm * 60s}{2\pi} = 716.5 \dots (25)$$

El par de arranque de un motor de inducción es determinante y debe tenerse en cuenta para aplicar el par adecuado a la carga.

El par de arranque del motor de inducción jaula de ardilla es bajo, debido a que , en reposo, el rotor tiene reactancia inductiva relativamente elevada ( $X_L$ ) con respecto a su resistencia (R). En estas condiciones, cabría esperar que la corriente del rotor estuviera a 90° atrasada con respecto a la tensión del rotor. Así, se dice que el factor de potencia en el circuito es bajo, lo cual significa que el motor es ineficiente como carga y no puede convertir la potencia recibida de la fuente de energía realmente útil para su funcionamiento.

A pesar de esa ineficiencia, se produce una fuerza de par y el motor empieza a girar. Al comenzar su rotación, la diferencia de velocidad entre el rotor y campo rotatorio o deslizamiento, varía desde un máximo de 100% a algún valor intermedio, por ejemplo 50%. Al disminuir el deslizamiento de esta

manera. la frecuencia de voltaje inducido en el rotor disminuye, lo cual a su vez, hace que disminuya la reactancia inductiva total del circuito.

Al disminuir la reactancia inductiva, el factor de potencia comienza a aumentar y se nota que el motor aprovecha mejor la potencia que se le suministra. Esta se refleja en un aumento del par y en el consiguiente incremento de la velocidad.

La velocidad del motor se estabiliza cuando el deslizamiento disminuye hasta algún valor este entre 2 y 10 %. Para dicha estabilización concurren dos factores: por un lado, el motor tiende a aumentar su velocidad cuando su deslizamiento disminuye abajo del 2%; por el otro, cuando la velocidad del rotor se aproxima al 2% de la velocidad sincrona, disminuyen los efectos de inducción y, esto contrarresta la anterior tendencia al aumento del par, la cual ocurre mientras el motor se va acelerando a partir del momento en que se ponga en marcha. Así pues, en el motor de corriente alterna hay un control de aumento de velocidad.

El par de arranque de un motor de inducción es directamente proporcional al cuadrado de la tensión durante el arranque.

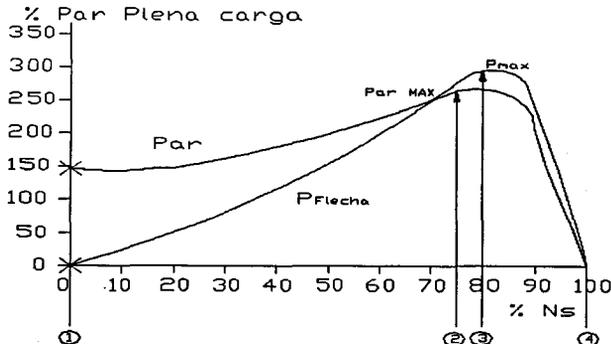
El par máximo, es el valor más alto que puede desarrollar el motor sin que tienda a frenarse, también se le conoce como *par de desenganche*, por ser el valor que causa una disminución en la velocidad súbitamente y tiende a "desengancharse" de la carga.

El par máximo de los motores de inducción ordinarios varía entre 1.5 y 3 veces del par a plena carga.

### III.4.15 COMPORTAMIENTO PAR-VELOCIDAD-POTENCIA

El punto de operación de un motor está determinado por el par que imprime a la carga, la velocidad con que lo hace y derivándose de estos dos primeros aspectos la potencia mecánica que finalmente entrega a la carga. En la mayoría de los casos un motor desarrollará varios puntos de operación a lo largo del servicio que presta.

En la siguiente gráfica se muestran tanto el comportamiento del par como el de la potencia mecánica entregada por el motor a la carga respecto a la velocidad.



III.13 Comportamiento Par-Velocidad-Potencia

De la figura III.13 podemos observar que:

1

- El par producido al arranque del motor es ligeramente mayor que su par a plena carga, así el motor debe ser capaz de arrancar y poder arrastrar a la carga hasta su velocidad nominal. Sin embargo en este punto no se presenta el par máximo que puede obtener el motor.
- En este punto la potencia transmitida a la carga es cero dado que no existe aún movimiento.
- El valor del par de arranque depende del diseño de las ranuras del rotor.

2

- El máximo par que el motor es capaz de producir (llamado par máximo desarrollado o par de desenganche) se presenta a velocidades que están por debajo de la velocidad síncrona.
- La máxima potencia transmitida tampoco se presenta a esta velocidad de operación.

3

- La máxima potencia transmitida se presenta a una velocidad próxima a la velocidad síncrona, pero nunca sin llegar a este valor.
- El par producido en este momento es un poco menor al máximo por producido en 2.

4

- Al igualar la velocidad síncrona tanto par como potencia caen en forma vertiginosa.
- En el momento que se alcanza la velocidad síncrona se tiene un par y potencia transmitidos nulos.

### III.4.16 FACTOR DE SERVICIO

En comparación con otros equipos eléctricos, por ejemplo los sistemas de iluminación cuya carga eléctrica permanece prácticamente constante durante toda su operación, el punto de operación de los motores puede cambiar constantemente, así que las variaciones de carga hacia arriba deben de tomarse siempre en cuenta.

El factor de servicio es un concepto creado para considerar sobrecargas transitorias. Este se aplica a la corriente ( o potencia) nominal del motor e indica la cantidad de sobrecarga en corriente ( o potencia) que el motor es capaz de soportar durante períodos cortos sin que esto afecte la vida útil del motor.

El valor de este factor depende de la calidad de los procesos de construcción propios del motor.

Por ejemplo, un motor con Fs de 1.15 indica que este motor puede operarse, a 1.15% de su potencia nominal indicada en sus datos de placa. En el ANEXO 2 B) del presente trabajo muestra los Fs a diferentes velocidades y potencias.

## III.5 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCION

### III.5.1 DISEÑO NEMA

Los motores trifásicos de potencias mayores de 1 HP son diseñados según las normas NEMA, según el diseño de la jaula del rotor de la siguiente manera:

### **MOTOR DE DISEÑO NEMA A**

**Par alto, deslizamiento nominal bajo y corriente de arranque alta.**

Es un motor de inducción con rotor tipo jaula de ardilla, diseñado con características de par y corriente de arranque que exceden los valores correspondientes al diseño NEMA B, son usados para aplicaciones especiales donde se requiere un par máximo mayor que el normal, para satisfacer los requerimientos de sobrecargas de corta duración.

Estos motores también son aplicados a cargas que requieren deslizamientos nominales muy bajos y del orden del 1% o menos (velocidades casi constantes).

### **MOTOR DE DISEÑO NEMA B**

**Par normal, corriente de arranque normal y deslizamiento nominal normal.**

Son motores con rotor tipo jaula de ardilla diseñados con características de par y corriente de arranque normales, así como un bajo deslizamiento de carga de aproximadamente 4% como máximo. En general es el motor típico dentro del rango de 1 a 125 HP. El deslizamiento a plena carga es de aproximadamente 3%.

Este tipo de motor proporcionará un arranque y una aceleración suave para la mayoría de las cargas y también puede resistir temporalmente picos elevados de carga sin detenerse.

### **MOTOR DE DISEÑO NEMA C**

**Par alto, deslizamiento nominal normal, corriente de arranque normal.**

Son motores de inducción con rotor de doble jaula de ardilla, que desarrollan un alto par de arranque y por ello son utilizados para cargas de arranque pesado. Estos motores tienen un deslizamiento nominal menor que el 5%.

### **MOTOR DE DISEÑO NEMA D**

**Par alto, alto deslizamiento nominal, baja corriente de arranque.**

Este motor combina un alto par de arranque con un alto deslizamiento nominal. Generalmente se presentan dos tipos de diseño, uno con deslizamiento nominal de 5 a 8% y otro con deslizamiento nominal de 8 a 13%. Cuando el deslizamiento nominal puede ser mayor del 13%, se les denomina motores de alto deslizamiento o muy alto deslizamiento (ULTRA HIGH SLIP). El par de arranque es generalmente de 2 a 3 veces el par nominal aunque para aplicaciones especiales puede ser más alto. Estos motores son recomendados para cargas cíclicas y para cargas de corta duración con frecuentes arranques y paradas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

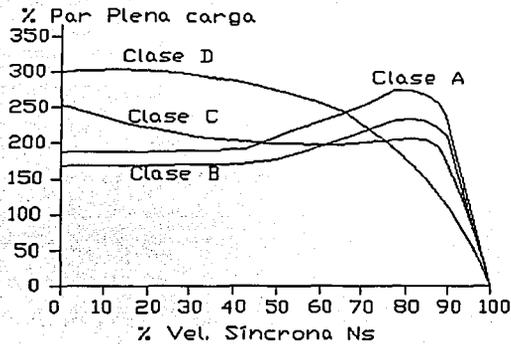


FIGURA III.14 Clases de diseño de un motor de inducción

TABLA III.6 TABLA COMPARATIVA DE MOTORES DE INDUCCIÓN

|                      | A  | B   | C  | D  |
|----------------------|--|---|--|--|
| <b>t</b> ARRANQUE    | NORMAL<br>< t <sub>NOMINAL</sub>                           | NORMAL<br>< t <sub>NOMINAL</sub>                                | ALTO<br>≥ 2.5 t <sub>NOMINAL</sub>                                   | MUY ALTO<br>≥ 2.75 t <sub>NOMINAL</sub>                |
| <b>I</b> ARRANQUE    | 5 I <sub>NOM</sub> < I <sub>ARR</sub> < 8 I <sub>NOM</sub> | 3.5 I <sub>NOM</sub> < I <sub>ARR</sub> < 6 I <sub>NOM</sub>    | < 3 I <sub>NOM</sub>   | < 3 I <sub>NOM</sub>                                   |
| <b>S</b> PLENA CARGA | BAJO<br>< 5%   | BAJO<br>< 5%  | BAJO<br>< 5%   | ALTO<br>11 - 17%                                       |
| <b>t</b> MAXIMO      | 2 t <sub>NOM</sub> < t <sub>MAX</sub> < 5 t <sub>NOM</sub> | 2 t <sub>NOM</sub> < t <sub>MAX</sub> < 3 t <sub>NOM</sub>      | 1.5 t <sub>NOM</sub> < t <sub>MAX</sub> < 2.5 t <sub>NOM</sub>       | t <sub>MAX</sub> < 3 t <sub>NOM</sub>                  |
| <b>USOS</b>          | VENTILADORES, BOMBAS, TORNOS, MÁQUINAS DE HERRAMIENTAS     | SIMILARES A LAS DE A  | BOMBAS CARGADAS, COMPRESORES Y BANDAS TRANSPORTADORAS CARGADAS       | VOLANTES, TALADROS PRENSAS Y CIZALLAS                  |
| <b>OBSERVACIONES</b> | ECONÓMICOS   | SE RECOMIENDA USAR B SOBRE A DADA SU BAJA CORRIENTE DE ARRANQUE | REQUIEREN ROTORES CON DOBLE JAULA DE ARDILLA POR LO QUE SON COSTOSOS | SOLO RECOMENDADOS PARA INERCIAS EXTREMADAMENTE GRANDES |

### III.5.2 DISEÑOS ESPECIALES

#### III.5.2.1 MOTORES DE DISEÑO NEMA F

Par de arranque bajo, corriente de arranque baja, bajo deslizamiento nominal.

Son motores poco usados, destinándose a cargas con frecuentes arranques. Pueden ser de altos torques y que se utiliza en casos en los que es importante limitar la corriente de arranque.



Para casos especiales en que se necesitan características especiales que no se encuentran en la clasificación NEMA, tenemos los siguientes tipos de motor:

### III.5.2.2 MOTORES CON ROTOR DE JAULA PARA MECANISMOS ELEVADORES

En el servicio de los mecanismos elevadores, en pocas ocasiones los motores funcionan durante largo tiempo a plena velocidad de rotación. No tiene por tanto, gran importancia que exista una elevada pérdida de velocidad (deslizamiento elevado). Debido a ello, es posible fabricar los motores con una capacidad de deslizamiento máximo mayor. De esta manera resulta un arranque elástico.

Para el servicio de los mecanismos elevadores, los motores con rotor dejaula se construyen con capacidad de entrega de par de las clases KL 13h y KL 16h es decir, que el motor puede arrancar con seguridad venciendo un par resistente del 130% o del 160% del par nominal. La letra "h" indica que el curso de la característica del par motor se ha adaptado a las condiciones particulares del servicio de ésta clase de mecanismos.

Por ejemplo, con una duración de conexión del 40%, estos motores, en lo que afecta a la potencia, ofrecen un par de arranque doble o triple del normal y una intensidad de arranque aproximadamente cuatro o cinco veces mayor que la normal. En este caso, el par de arranque es el par máximo que puede presentarse en la gama comprendida entre el estado de reposo y la velocidad de rotación nominal.

### III.5.2.3 MOTORES CON ROTOR DE JAULA PARA ACCIONAMIENTO DE PRENSAS

Para accionar prensas con grados de inercia elevados, se utilizan frecuentemente motores provistos de rotores llamados de deslizamiento o de resistencia. Estos motores tienen una capacidad aproximadamente a sólo el 80% de la potencia nominal normal, y presentan un deslizamiento igual al doble de lo normal.

La clasificación del par es, por ejemplo, KLI OS (rotor de deslizamiento). Los motores tienen un par de arranque de 1,7 veces el par nominal (aproximadamente) y absorben una intensidad inicial en el arranque que es igual a unas cuatro veces la intensidad nominal.

### III.5.2.4 MOTORES DE MUY ALTO DESLIZAMIENTO PARA UNIDADES DE BOMBEO DE PETRÓLEO

El motor de muy alto deslizamiento está específicamente diseñado para impulsar unidades de bombeo de petróleo tipo balancín por varilla de succión.

Este es un motor asíncrono trifásico de rotor bobinado; sus características eléctricas y mecánicas son diseñadas para tener un óptimo comportamiento, libre de fallas, en el duro trabajo de los campos petroleros. Poseen características que los hacen superiores a los motores con diseño NEMA D y con deslizamientos nominales del 5 al 8%.

Considerando las características particulares, como el funcionamiento y la instalación a la intemperie en zonas polvorientas, con lluvia y alta humedad relativa, etc., donde deben funcionar durante largo tiempo casi sin mantenimiento, estos motores se construyen completamente cerrados y con ventilación externa. La clase de protección de IP 45 o IP 55 y el aislamiento es de clase F.

Los motores de muy alto deslizamiento, comúnmente disponen de 9 terminales, lo que permite conectar el motor en cualquiera de las cuatro modalidades de par: alto, medio, medio-bajo y bajo; para una óptima

utilización de la capacidad y para facilitar el esfuerzo operacional en la unidad de bombeo. Se fabrican con pares de arranque promedio 330, 230, 200 y 180% del nominal para sus modalidades de alto, medio, medio-bajo y bajo par, respectivamente.

Mientras que los motores convencionales se fabrican con pares promedio de 200% del nominal. Si en el motor convencional la demanda de par excede este nivel, el motor arrancará y se frenará. Lo contrario sucede en el motor de muy alto deslizamiento, que, con el aumento de la demanda de par disminuirá su velocidad a medida que la demanda de par aumenta.

Los motores de muy alto deslizamiento presentan, respecto a los del diseño NEMA D una enorme ventaja: la corriente de arranque es mucho más baja, aproximadamente la mitad, lo que significa caídas de tensión en los bornes del motor mucho menores, requisito sumamente importante para un arranque satisfactorio, pues el torque del motor, como ya se ha visto, varía en forma proporcional con el cuadrado de la tensión en los bornes.

### III.6 PARTES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

#### III.6.1 PARTES PRINCIPALES DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA

##### **Estator.**

Donde se colocan los devanados del motor, esta parte no tiene movimiento y es donde se produce el campo magnético. Comúnmente se fabrica en acero colado y en su interior se colocan láminas delgadas de acero al silicio, que es donde se alojan las bobinas para crear el campo magnético.

La razón de utilizar acero al silicio es su alta permeabilidad al flujo magnético. Es decir, la facilidad de los materiales para permitir la creación de campos magnéticos.

##### **Rotor.**

Es la parte giratoria del motor, está formado por láminas delgadas de acero al silicio, unidas con barras de aluminio y se coloca encima de la flecha.

##### **Flecha.**

Es la parte unida al rotor, se encarga de transmitir el movimiento a la carga.

##### **Tapa anterior.**

Es la que cubre los devanados del estator y aloja el balero posterior.

##### **Tapa posterior.**

Cubre también la parte posterior de los devanados del estator y aloja el balero posterior.

##### **Cubierta del ventilador.**

Cubre el ventilador de enfriamiento del motor.

##### **Baleros o rodamientos.**

Sirven para soportar a la flecha y transmitir el par sin fricción.

Se denomina *balero lado carga* al que se ubica hacia donde se transmite el movimiento.

Se denomina *balero posterior* al balero opuesto al anterior.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

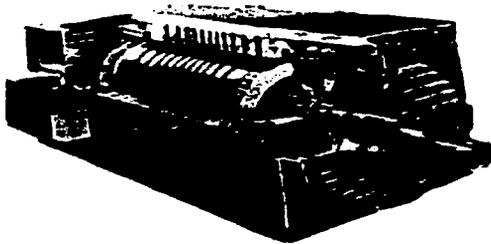


FIGURA III.15: Corte de un motor de inducción con rotor jaula de ardilla

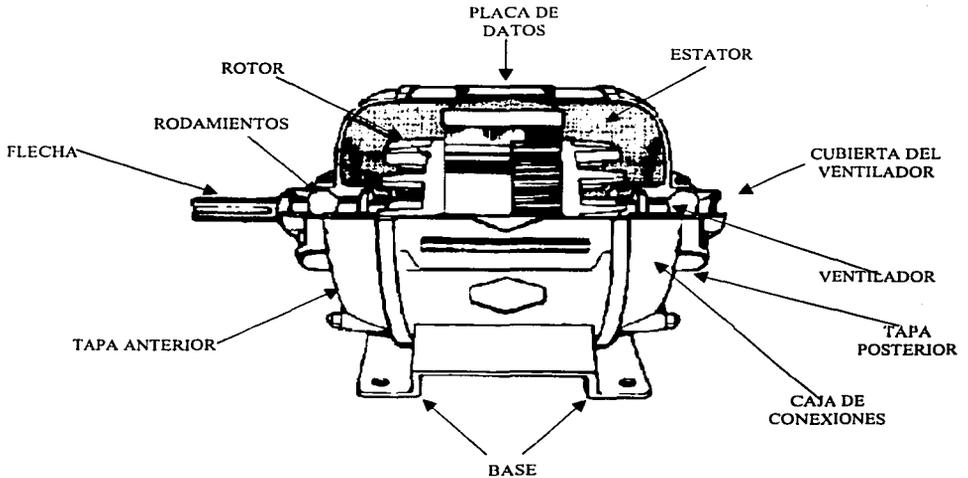


FIGURA III.16: Partes de un motor de inducción con rotor jaula de ardilla

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### III.6.2 TIPOS DE CARCAZA

Existen muchos tipos de carcaza algunos de ellos son los siguientes:

**Abierto a prueba de goteo:** Es un motor abierto en el cual la ventilación esta al final de la carcaza, impidiendo de esta manera la entrada de líquidos o sólidos al motor, en un ángulo menor a  $15^\circ$  de la vertical. Estos motores están diseñados para áreas que están relativamente secas, limpias, buena ventilación, usualmente interiores.

**Resguardado o protegido:** Es un motor abierto en el cual las aberturas de ventilación están limitadas por las especificaciones de tamaño y forma protegido del contacto accidental con partes giratorias o eléctricas.

**A prueba de chorro y goteo:** Este es un motor abierto en el cual la ventilación impide la entrada de líquidos o sólidos a cualquier ángulo menor a  $100^\circ$  de la vertical.

**Totalmente cerrado:** Es un motor cerrado para evitar el libre intercambio de aire. Estos motores no son enfriados mediante ventilación forzada, es decir, mediante un ventilador. Estos se utilizan donde son expuestos a suciedad o humedad, pero no para lugares que resulten peligrosos.

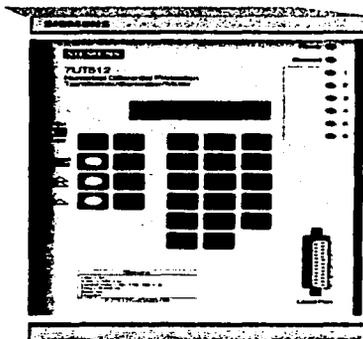
**Totalmente cerrado con ventilador enfriador:** Es un motor totalmente encerrado con un ventilador para soplar aire frío a través de la carcaza externa. Estos son comúnmente utilizados en atmósferas; corrosivas, sucias y polvosas.

**Encapsulados:** Es un motor abierto en el cual el arrollamiento esta cubierto con un revestimiento, de material fuerte para proporcionar protección contra la humedad, suciedad, y contra sustancias abrasivas.

**Contra explosiones:** Es un motor totalmente encerrado, diseñado y construido para atmósferas peligrosas que contienen o pueden contener gases, vapores o polvos en cantidades explosivas. De esta manera el motor está diseñado para impedir una ignición de gas o vapor alrededor de la máquina por alguna chispa flama o una explosión dentro del motor impidiendo que salga fuera de la carcaza. La temperatura ambiente donde se ubica el motor no debe exceder los siguientes límites de  $40^\circ\text{C}$  a  $25^\circ\text{C}$  a menos que las especificaciones de la placa permitan otro valor, y estén anotados sobre los datos de placa y en la literatura.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO IV



## SELECCIÓN Y OPERACIÓN EFICIENTE Y FUNCIONAL DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO IV

# SELECCIÓN Y OPERACIÓN EFICIENTE Y FUNCIONAL DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

### IV.1 INTRODUCCIÓN

Como muchas empresas hoy en día, las pequeñas y medianas empresas buscan ser mas competitivas, debido a la necesidad cada vez más apremiante de disminuir costos de operación, para poder competir de forma más efectiva en contra de tantas otras empresas del mismo ramo que existen no sólo en México sino que cada vez en mayor medida extranjeras y cuentan con muchas ventajas sobre las empresas nacionales y sus productos.

Existe un nicho de oportunidad de ahorro de energía en el uso eficiente de los motores de inducción. Desde el momento mismo de la selección, pues una correcta elección de los mismos pueden llevarnos a grandes ahorros comparando con una selección inadecuada. como por ejemplo, el sobredimensionar un motor nos lleva a cuantiosas pérdidas de energía y por lo tanto de dinero.

El contar con un buen equipo de control, que realice en forma eficiente las funciones de arranque, paro, protección, inversión de rotación, etc., originaran un desempeño adecuado y con pérdidas mínimas, además de que se protegen los motores para que se mantengan el mayor tiempo posible funcionando con eficiencia óptima y se amplía el tiempo en el que tendrán que ser reparados, lo que lleva de igual forma al ahorro.

El mantener una alta eficiencia en los motores es vital para una empresa cuyo objetivo es reducir costos de operación, por lo que se tiene que tener este factor muy presente y en la medida de lo posible mejorarlo, dado que el costo de la energía eléctrica está en aumento constante, esta oportunidad es aun más rentable.

Existen varias oportunidades para conseguir considerables disminuciones de costos de operación usando motores de inducción bajo un buen mantenimiento, bien seleccionados y operados en forma correcta, en el lugar correcto, en el horario más conveniente para algunas empresas (con tarifa II-M) y mediante el equipo mínimo necesario para la correcta operación de los mismos. Se pueden sustituir los motores estándar cuando se dañen o adquirir motores de alta eficiencia para nuevas instalaciones, sobre todo cuando operan mas de 12 horas al día. También la instalación de variadores de velocidad representa una oportunidad de ahorro, aplicados a los motores que operan con cargas variables. Pero el tener presente que se pueden obtener ahorros importantes en los motores de inducción, aún sin tener que realizar un gasto de inversión, es una opción viable y una oferta difícil de resistir.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## IV.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN

El criterio básico para seleccionar un motor es simplemente el cumplir los requerimientos de par y velocidad que requiere la carga, de tal forma que el desempeño en cuanto a aprovechamiento de energía sea óptimo. Para lo cual es necesario ubicar dos características propias de la carga:

- Par de arranque
- Tipo o secuencia de operación.

Para cubrir el aspecto del arranque del motor se requiere considerar la clase de diseño del motor (A, B, C ó D) con el fin de evitar el sobredimensionamiento del motor, ya que un problema muy frecuente al seleccionar un tipo de motor, es muy común seleccionarlo por el tipo de arranque, en el momento de inicio de operación el motor tiene que vencer una gran inercia, aunque el resto de su operación requiera sólo de un par moderado o hasta un par bajo, entonces, en muchas aplicaciones el par de operación nominal en comparación con el par de arranque es mucho menor; y esto en el ámbito del mantenimiento, donde por lo general la inmediatez predomina sobre la planeación, es bastante común que se termine sobredimensionando. Ya que como al primer intento el motor no arranca, este se cambia por otro de mayor potencia y si este no arranca se cambia sucesivamente hasta que arranque con la carga al inicio.

### IV.2.1 TIPO O SECUENCIA DE OPERACIÓN.

Existen cuatro casos a los que nos podemos enfrentar el momento de la selección de un motor, vistos en la tabla siguiente:

**TABLA IV.1 CASOS PARA LA SELECCIÓN DE MOTOR**

| VELOCIDAD | CARGA CONSTANTE | CARGA VARIABLE |
|-----------|-----------------|----------------|
| Constante | Caso A          | Caso B         |
| Variable  | Caso C          | Caso D         |

#### IV.2.1.1 CASO A: VELOCIDAD Y CARGA CONSTANTES.

Considerando que la carga a mover y la velocidad a la que lo hará son constantes la selección del motor es relativamente sencilla.

1. Lo primero que se tiene que hacer para seleccionar un motor es ubicar el par requerido.
2. Después de lo anterior se busca un motor que a su potencia nominal sea capaz de entregar el par necesario a una velocidad cercana a la del sincronismo. El par de salida en función de los HP's está definido como:  $\tau = 5252 \text{ HP/Nm} [\text{LbFt}]$
3. Se considera que los HP marcados en la placa del motor son los HP mecánicos entregados en la salida del motor, en la flecha de este.
4. Tomando a primera instancia un deslizamiento "grande", un 5 %, por lo general y considerando que la velocidad marcada en la placa del motor es la velocidad de sincronismo. Es decir que:  $N_m = 0.95 N$ ,

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CRITERIO**

El par obtenido bajo estas condiciones es el par que se espera tener a plena carga, el cual se compara con el par que deseamos obtener del motor.

$$5252HP/(0.95 N_s) \geq \tau$$

si el motor propuesto cubre con el par demandado se considera como un buen candidato.

- Cuando el motor elegido se encuentra entre dos potencias adyacentes, se elige la superior para asegurar que se cubrirán los requerimientos de potencia mecánica de la carga.
- Cuando prácticamente se iguala con la potencia nominal comercial de un motor se puede elegir a este tomando en cuenta que para absorber pequeños incrementos de carga en este caso se cuenta con el factor de servicio, evitando así el sobredimensionamiento del motor.

**IV.2.1.2 CASO B: VELOCIDAD CONSTANTE- CARGA VARIABLE**

Una mala selección de dimensionamiento, es una de las causas de que existan mayores desperdicios en los equipos de fuerza, no sólo al arranque sino también durante la operación regular del motor.

Uno de los métodos de selección basado en la demanda de potencia mecánica real por parte de la carga, utiliza como parámetros principales la potencia en su secuencia de operación, la cual se repite en forma regular, como lo muestra la figura IV.1:

- Si elegimos el motor basados en la potencia pico  $P_{pico}$ , que es la máxima que nuestro proceso requiere, entonces estaremos sobredimensionando en la mayor parte del tiempo de operación, eso sin contar que se quisiera dar todavía el tan afamado factor de seguridad.
- Tampoco es recomendable emplear exclusivamente el promedio aritmético de las potencias demandadas ya que los picos tenderían a la larga a sobredimensionar el motor, o bien, las concavidades que se presentan momentáneamente tenderían a subdimensionarlo.

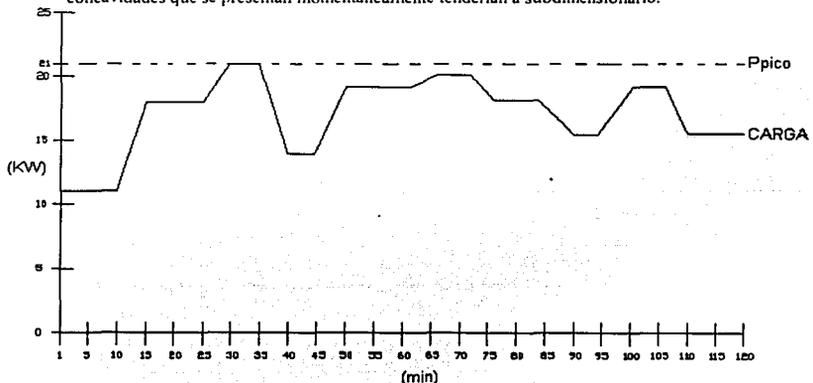


FIGURA IV.1 Demanda de Potencia mecánica real por parte de la carga

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CRITERIO**

1. Multiplique el cuadrado de las potencias demandadas para cada parte del ciclo de operación por el tiempo necesario para completar esa parte del ciclo de operación.
2. Luego se dividen la suma de productos resultante entre el tiempo en marcha.
3. Si el motor es detenido, parte del ciclo de operación, sólo debe considerarse una parte del tiempo en paro, la mitad para motores abiertos y una tercera parte para motores cerrados.

$$P_{RMS\Delta T} = \sqrt{\frac{\sum(P_i^2 \Delta t_i)}{\sum \Delta t_i + (t_{OFF}/k)}} \dots (1)$$

donde:

$P_{RMS\Delta T}$  : Potencia RMS del ciclo de trabajo  $\Delta T$ .

$P_i$  : Es cada uno de los valores de la potencia demandada por la carga.

$\Delta t_i$  : Es el tiempo que se sostiene la potencia demandada por la carga

$t_{OFF}$  : Tiempo de paro del motor durante el ciclo de operación.

$k$  : Factor de corrección por disipación ( $k=2$  motores abiertos y  $k=3$  para motores cerrados).

Podemos observar de la ecuación anterior, al intervenir el término  $\Delta t_i$  se descartan tanto los picos como las concavidades momentáneas y da un mayor peso a las potencias que tienen un mayor tiempo de demanda a lo largo del ciclo de operación de la carga.

Con el valor de  $P_{RMS\Delta T}$  partiremos en una primera aproximación para buscar en los catálogos de especificaciones de motores aquel que cumpla con los requerimientos de potencia de la carga, designándola  $P'_{RMS\Delta T}$ , sin perder de vista al par de arranque que previamente debimos haber determinado.

$$P_{RMS\Delta T} \Rightarrow \text{ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE} \Rightarrow P'_{RMS\Delta T}$$

sin embargo, los picos demandados no pueden dejarse de lado. Para esto se procura cubrirlos con el factor de servicio del motor.

De no lograrlo se tienen dos opciones:

- 1) Buscar un motor de la misma potencia  $P'_{RMS\Delta T}$  con un factor de servicio mayor, y/o
- 2) Probar con un motor que tenga la potencia inmediata superior.

En realidad se trata de un proceso iterativo en el que intervienen todos los factores antes comentados.



Para el caso en que la carga de los motores sea variable y no se tenga dispuesto un control de velocidad, (de ahí que se considere que se tendrá una velocidad constante), se requiere averiguar la potencia RMS desarrollada por el motor a lo largo de su ciclo de operación.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## IV.2.1.3 CASO C : VELOCIDAD VARIABLE- CARGA CONSTANTE.

Dadas las curvas típicas velocidad-eficiencia de los motores de inducción y mientras la carga se conserve constante, se puede considerar que la eficiencia se conserva constante de un 50 a un 95 % de la velocidad sincrona.

$$\eta : \text{constante (50\% } N_S < N_M < 95\% N_S)$$

Debido a:

A.- Para que la eficiencia conserve prácticamente intacto su valor. Para velocidades más bajas, la eficiencia decrece (ya sea por baja frecuencia de alimentación o bien por sobrecarga). Esto mismo sucede al operar el motor sin carga.

B.- Para mantener la mínima ventilación requerida por los aislamientos. Con esto se asegura que los aislamientos tendrán un mínimo de ventilación con lo cual disiparán el calor generado por el paso de la corriente eléctrica.

Para poner la potencia de salida en función de la frecuencia de alimentación tenemos que:

$$P_{SAL} = \tau(4\pi/P)(1-S)f \quad [Nm][rad/s] \quad \dots (2)$$

$$P_{ENT} = ((4\pi/P)/\eta)^y \tau(1-S)f \quad \dots (3)$$

así la potencia demandada por los motores es linealmente proporcional a la frecuencia eléctrica de alimentación tiene que ser igual o mayor al 50% de la frecuencia nominal del motor.

## CRITERIO

Hay dos situaciones al respecto:

- Por lo general, el control de velocidad se hace presente cuando estamos implementando medidas de ahorro energético sobre equipos ya instalados, aquí la selección del motor ya fue hecha y basta con implementar el control de velocidad adecuado.
- En el caso de tener que hacer una selección del motor se hace un análisis similar al descrito en el caso B donde se averigua la potencia RMS demandada. La única diferencia es que previamente las potencias demandadas se calculan tomando en cuenta la frecuencia a la que se va a operar el motor.

## IV.2.1.4 CASO D: VELOCIDAD Y CARGAS VARIABLES.

Este es el típico de muchos de los actuales sistemas de alta velocidad de c.a. y BOMBEO, en los que se hace uso del control de velocidad para obtener un mayor beneficio de la electricidad que consume un edificio.

Supongamos que tenemos una red de distribución, de aire o agua, en la que los diferentes usuarios tienen distintos consumos a lo largo del día, siendo el gasto demandado también variable.

Tanto para los sistemas de distribución de Aire Acondicionado como para los de bombeo, con gastos de aire y agua variables, respectivamente, existe las siguientes características:

- El gasto es función de la velocidad del medio impulsor (Ventilador o Bomba).
- La potencia mecánica requerida para mantener el gasto es función del cubo de la velocidad.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

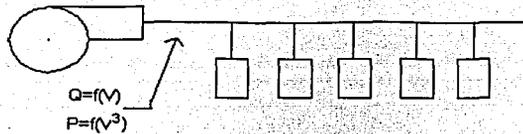


FIGURA IV.2 (a): Consumo en una red de distribución de aire o agua

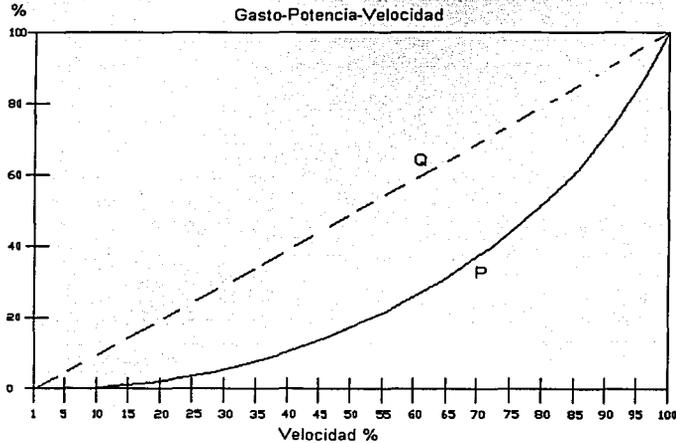


FIGURA IV.2 (b) Gráfica Velocidad-Potencia-Gasto

Esta última característica implica que los potenciales de ahorro en los motores de las y los equipos de bombeo con gasto variable son enormes, ya que una disminución en el gasto requerido se reflejará en forma cúbica sobre la potencia eléctrica demandada por el motor.

**CRITERIO**

El criterio de selección es una combinación de los casos B y C.

El comportamiento global de los motores esta relacionado con los siguientes parámetros:

- Eficiencia.
- Tipo de carcasa. (abierto, cerrado)
- Par a plena carga.
- Factor de potencia.
- Factor de servicio.
- Velocidad (rpm)
- Temperatura de operación.
- Par de arranque.
- Nivel de ruido.
- Tipo de aislamiento.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Una buena especificación de motor logrará un mejor comportamiento de acuerdo a todas las características que la operación exija. También es conveniente determinar desde la compra las modificaciones requeridas a los componentes, tal como : armazón o carcasa, diseño del rotor, rodamientos, o la clase de aislamiento.

En las especificaciones se podrán incluir los siguientes puntos:

- Potencia del motor y factor de servicio.
- Temperatura de operación y clase de aislamiento.
- Rango del factor de potencia.
- Eficiencia requerida.
- Carga inercial y número de arranques esperados.

Información sobre el medio ambiente:

- Corrosivo o no corrosivo
- Altitud
- Temperatura ambiente
- Niveles de humedad
- Peligroso y no peligroso

Es importante especificar los requerimientos de los motores, como: protección térmica, espacio de calefacción (para prevenir condensación de vapores).

### IV.3 CONTROL DE MOTORES DE INDUCCIÓN

El control de la energía eléctrica, es básica cuando se usa maquinaria industrial. La electricidad industrial está relacionada en primer lugar con el control del equipo eléctrico industrial y sus procesos relacionados.

El concepto de control de motores de inducción en su sentido más amplio comprende todos los métodos usados para el control del comportamiento de un sistema eléctrico. El sentido que se pretende en esta sección, está relacionado con el arranque, aceleración, reversa, desaceleración y frenado de un motor y su carga.

Existen, algunas condiciones que deben considerarse al seleccionar, diseñar, instalar o dar mantenimiento al equipo de control del motor eléctrico.

El control del motor era un problema sencillo cuando se usaba una flecha maestra común, a la que se conectaban varias máquinas, porque el motor tenía que arrancar para sólo unas cuantas veces al día. Sin embargo, con la transmisión individual el motor ha llegado a ser casi una parte integrante de la máquina y es necesario diseñar el controlador para ajustarse a sus necesidades.

**Control del motor:** Es un término genérico que significa muchas cosas, desde un simple interruptor de palanca hasta un complejo sistema con componentes tales como relevadores, controles de tiempo e interruptores. Sin embargo, la función común es la misma en cualquier caso: esto es, controlar alguna operación del motor eléctrico. Por lo tanto, al seleccionar e instalar equipo de control para un motor se debe considerar una gran cantidad de diversos factores a fin de que aquél pueda funcionar correctamente junto a la máquina para la que se diseña.

#### IV.3.1 PROPÓSITO DEL CONTROLADOR

Algunos de los factores a considerarse respecto al controlador, al seleccionarlo e instalarlo, pueden enumerarse como sigue:

**Arranque:** El motor se puede arrancar conectándolo directamente a través de la línea. Sin embargo, la máquina impulsada se puede dañar si se arranca con ese esfuerzo giratorio repentino. El arranque debe hacerse lento y gradualmente, no sólo para proteger la máquina, sino porque la oleada de corriente de la línea durante el arranque puede ser demasiado grande. La frecuencia del arranque de los motores también comprende el empleo del controlador.

**Parada:** Los controladores permiten el funcionamiento hasta la detención de los motores y también imprimen una acción de freno cuando se debe detener la máquina rápidamente. La parada rápida es una función vital del controlador para casos de emergencia. Los controladores ayudan en la acción de parada retardando el movimiento centrífugo de las máquinas y en las operaciones de las grúas para manejar cargas.

**Inversión de la rotación:** Se necesitan controladores para cambiar automáticamente la dirección de la rotación de las máquinas mediante el mando de un operador en una estación de control. La acción de inversión de los controladores es un proceso continuo en muchas aplicaciones industriales.

**Marcha:** Las velocidades y características de operación deseadas, son, función y propósito directos de los controladores. Éstos protegen a los motores, operadores, máquinas y materiales, mientras funcionan.

#### FACTORES EN LOS QUE INTERVIENE

- *Control de velocidad.*

Algunos controladores pueden mantener velocidades muy precisas para propósitos de procesos industriales, pero se necesitan de otro tipo para cambiar las velocidades de los motores por pasos o gradualmente.

- *Seguridad del operador.*

Muchas salvaguardas mecánicas han dado origen a métodos eléctricos. Los dispositivos piloto de control eléctrico afectan directamente a los controladores al proteger a los operadores de la máquina contra condiciones inseguras.

- *Protección contra daños.*

Una parte de la función de una máquina automática es la de protegerse a sí misma contra daños, así como a los materiales manufacturados o elaborados. Por ejemplo, se impiden los atascamientos de los transportadores. Las máquinas se pueden hacer funcionar en reversa, detenerse, trabajar a velocidad lenta o lo que sea necesario para realizar la labor de protección.

- *Mantenimiento de los dispositivos de arranque.*

Una vez instalados y ajustados adecuadamente, los arrancadores para motor mantendrán el tiempo de arranque, tensiones, corriente y par confiables, en beneficio de la máquina impulsada y el sistema de energía. Los fusibles, cortacircuitos e interruptores de desconexión de tamaño apropiado para el arranque, constituyen buenas prácticas de instalación que se rigen por los códigos eléctricos.

#### IV.3.2 ARRANQUE Y PARADA

El arranque y frenado está definido como una función en la cual el motor opera cuando se acciona un botón y frena cuando el botón se des-acciona. Esta acción de arranque y frenado se usa con máquinas, en las cuales el motor debe opera por periodos breves para conducir a la máquina a su posición o punto de operación.

**Frecuencia del arranque y la parada.** El ciclo de arranque de todos los controladores es vital en su operación continua satisfactoria. Los interruptores magnéticos, como los que se emplean para los motores, relevadores y contactores, pueden estropearse, en realidad a sí mismos, por la apertura y cierre repetidos y continuos. Es una de las principales fallas que busca un electricista experimentado en los tableros de control que no se encuentren funcionando. Estos también pueden necesitar periodos más frecuentes de inspección y mantenimiento. Los controladores y accesorios de servicio pesado deben considerarse, definitivamente, cuando la frecuencia del arranque es grande.

**Parada rápida o lenta.** Es necesario que muchos motores paren instantáneamente. La producción y algunas exigencias de seguridad son tales, que es necesario hacer que las máquinas se detengan tan rápidamente como sea posible. Los controles automáticos y aplicados facilitan el retardo y frenan la velocidad de un motor y, en realidad, aplican un torque en la dirección opuesta a la rotación. Existen controladores para motor para casi cada condición práctica. La regulación de la desaceleración es una función de los controles para motor.

**Paradas exactas.** Dichas paradas exactas, como la detención de un elevador a nivel del piso, se facilitan con equipo automático de parada suave y rápida. Los dispositivos piloto automáticos se interconectan con los sistemas de control, para detener los carros de los elevadores en una posición exacta a determinados niveles.

**Arranque ligero o de servicio pesado.** Algunos motores arrancan sin carga y otros lo hacen fuertemente cargados. El arranque de los motores puede causar grandes perturbaciones en la línea de alimentación, que afectan todo el sistema de distribución eléctrica de una planta. Puede, aun, afectar al sistema de la compañía eléctrica. Existen ciertas limitaciones impuestas en el arranque de un motor, por las compañías generadoras y las agencias de inspección eléctrica.

**Arranque rápido o lento.** Usualmente, la mejor condición para el arranque de un motor de corriente alterna, para obtener el máximo esfuerzo de giro de su rotor, es cuando en el arranque se aplica la tensión total a sus terminales. Sin embargo, muy frecuentemente la maquinaria impulsada se puede dañar a causa de ese repentino impulso de movimiento. Para evitar tal choque a las máquinas, al equipo y los materiales que se elaboran, se han diseñado algunos controladores para arrancar los motores lentamente e ir aumentando su velocidad.

**Arranque suave.** Aun con impulsos eléctricos y mecánicos reducidos, mediante un método de arranque por pasos, pueden existir problemas que requieren medidas adicionales para remediarlos. Si se requiere un arranque suave y gradual, merecen investigación los diferentes métodos de control.

**Arranque y parada manuales o automáticos.** El arranque y la parada manuales de las máquinas realizados por un operario, indudablemente serán actualmente, una parte de la gran variedad de producción industrial (mientras operarios). Sin embargo, muchas máquinas y procesos industriales se arrancan y restablecen automáticamente mediante dispositivos automáticos, con un ahorro enorme de horas-hombre y materiales. Los dispositivos de parada automática se usan en los sistemas de control para motor, por las más razones. Estos dispositivos reducen grandemente los riesgos de funcionamiento de algunas máquinas, tanto para el operario como para los materiales que en ellas se elaboran.

### IV.3.3 ARRANQUE DE MOTORES DE INDUCCIÓN

En motores de inducción trifásicos a veces es necesario limitar la corriente de arranque para no afectar a otras cargas conectadas al mismo alimentador.

Los siguientes son los procedimientos o sistemas de arranque más utilizados para los motores de inducción.

#### IV.3.3.1 ARRANQUE DIRECTO.

Es el arranque directo o a "tensión plena". Las normas NEMA para los diferentes diseños de motores de inducción establecen valores mínimos del par de arranque que el motor debe desarrollar en función del par nominal.

En dichos valores se considera que el arranque del motor se efectúa conectándolo directamente a la línea de alimentación; es decir, aplicando el 100% de la tensión nominal a las terminales del motor o, es decir, se proporciona arranque directo al motor. El procedimiento es aceptable en motores de baja capacidad, pero puede ser objetable en motores de 10 HP en adelante, toda vez que la corriente que toma el motor será del cuadrado del 500 al 600% de la nominal, lo que además de producir una caída de tensión momentáneamente en toda la red de alimentación puede provocar daños al equipo acoplado o al motor mismo.

Por otra parte, las empresas de suministro eléctrico, las normas técnicas de Instalaciones Eléctricas y recientemente la NOM 001, limitan en ocasiones la potencia máxima de un motor que puede arrancar directamente, con lo cual se hace necesario elegir el método alternativo de arranque para cualquier motor que exceda de dicha potencia.

#### IV.3.3.2 ARRANQUE A TENSIÓN REDUCIDA.

Cuando el arranque directo por conexión simple a la red no es conveniente, pueden considerarse varias opciones a fin de realizar el arranque a tensión reducida.

En todos estos métodos se considera el hecho de que en términos prácticos la corriente de arranque se reduce en forma directamente proporcional a la tensión y el par de arranque se reduce en proporción directa al cuadrado del decremento de la tensión. Estos métodos se examinan a continuación:

#### IV.3.3.3 ARRANQUE CON RESISTENCIA

Este método consiste en intercalar cierto valor de resistencia entre la línea de alimentación y las terminales del motor durante el periodo de arranque. Una vez que el motor alcanza su velocidad nominal, la resistencia adicional de cada fase se retira del circuito mediante puenteo, como se indica en la figura IV.3.

La caída de tensión en las resistencias  $R$  hace que la tensión en las terminales del motor se reduzca en un 20% en el caso típico, o sea el 80% de la tensión nominal, con lo que la corriente de arranque se reduce al 80% del valor nominal y el par de arranque al 64% del valor normal.

Desde luego que las resistencias deben estar correctamente dimensionadas para disipar una cantidad importante de energía durante el arranque, por lo que en algunos casos su costo puede resultar comparativamente alto.

Un refinamiento del la figura IV.3 consiste en dividir la resistencia en dos o más secciones que van retirándose del circuito en forma sucesiva, con lo cual la corriente se reduce en forma gradual y no en un solo paso.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ARRANQUE CON RESISTENCIA EN SERIE

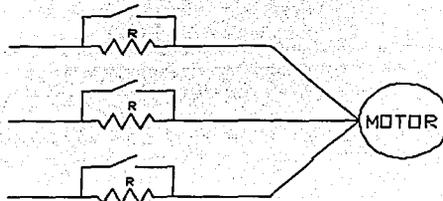


FIGURA IV.3 Arranque con resistencia

## IV.3.3.4 ARRANQUE CON REACTANCIA

Si las resistencias de la figura IV.3 se sustituyen por reactores, o sea bobinas de conductor de cobre dispuesta alrededor de un núcleo de hierro, es posible lograr la misma reducción en el voltaje aplicado a las terminales del motor, con menor disipación de calor.

Con este método en particular se dificulta eliminar la reactancia adicional por pasos, como en el caso de la resistencia, por lo que el arranque con reactancia en serie se emplea menos frecuentemente. Sin embargo, cuando se trata de motores mayores de 2300 V puede resultar la alternativa más económica.

En el caso típico, la reducción de la tensión buscada por este método es también de un 20 %, por lo que los valores de la corriente y del par de arranque disminuirán en las mismas proporciones que en el caso del arranque con resistencia en serie; es decir, al 80% y 64%, respectivamente. Por otra parte, como la corriente de arranque del motor está sumamente atrasada respecto a la tensión, la reactancia que debe intercalarse tendrá un valor mucho más bajo que en el caso de la resistencia para obtener la misma caída de tensión.

## IV.3.3.5 ARRANQUE CON UN AUTOTRANSFORMADOR O CON COMPENSADOR

Este método es posiblemente el que presenta mayores ventajas y por ello el más utilizado en la práctica. El compensador de arranque puede estar construido con dos bobinados conectados en delta abierta, con tres bobinados conectados en estrella. En ambos casos, los devanados del compensador de arranque se conectan directamente a la red de alimentación y tienen derivaciones que permiten aplicar a las terminales del motor cierto porcentaje de la tensión de línea.

Los compensadores de arranque normalmente tienen variaciones que permiten elegir una tensión de arranque entre un 50 y un 80% de línea.

Para efectuar el arranque del motor se cerrarían los contactos, con lo cual el motor quedaría conectado a un porcentaje de la tensión de línea seleccionada de antemano. Una vez que el motor hubiese alcanzado su velocidad normal se abrirían unos contactos y se cerrarían otros, con lo que el compensador quedaría fuera del circuito y el motor quedaría conectado directamente a la línea.

El circuito de control está previsto para evitar que, en caso de una interrupción momentánea, el motor pueda volver a arrancar conectado directamente a la tensión plena.

En la tabla IV.2 se muestran los valores obtenidos con un compensador de arranque de diseño normal.

TABLA IV.2 VALORES DE COMPENSADOR DE ARRANQUE NORMAL

| DERIVACIÓN<br>(%TENSION NOMINAL) | CORRIENTE<br>(% CORRIENTE DE<br>ARRANQUE) | PAR DE<br>ARRANQUE<br>(% PAR NORMAL) |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|
| 80                               | 64  | 64                                   |
| 65                               | 42.2                                      | 42.2                                 |
| 50                               | 25  | 25                                   |
| 80                               | 80  | 64                                   |

#### IV.3.3.6 ARRANQUE ESTRELLA DELTA

Si se tiene un motor que funciona normalmente con sus tres devanados conectados en delta, es posible cambiar la conexión a estrella durante el arranque.

Mediante este cambio de conexión, cada fase del devanado recibirá solamente el voltaje nominal dividido entre la raíz cuadrada de 3, lo que equivale a efectuar el arranque reduciendo la tensión al 57.7% de la nominal. Por otra parte, el cambio de delta a estrella significa que la corriente de la línea será igual a la corriente de fase, lo que se traduce en una reducción total de la corriente de línea.

Lo anterior significa que en este tipo de arrancador, tanto la corriente como el par de arranque se reducen también en forma proporcional al cuadrado de la reducción del voltaje.

Para poder emplear este sistema de arranque es necesario que el motor cuente o este diseñado para operación en delta y que se especifique del fabricante que el arranque será en estrella; de este modo todas las terminales del devanado deberán quedar accesibles.

Debe considerarse también que el par disponible es sólo la tercera parte del nominal y podría no ser suficiente para acelerar la carga en un tiempo razonable. Hay que indicar asimismo la transición de una conexión a otra, puede provocar una corriente transitoria de gran intensidad, a menos que se agregue una reactancia en serie par limitar dicha corriente.

#### IV.3.3.6 RESUMEN

La tabla IV.3 recapitula y compara los métodos de arranque anteriormente descritos .

TABLA IV.3 COMPARACION DE METODOS DE ARRANQUE

| ARRANQUE            | TENSION (%) | CORRIENTE (%) | PAR (%) |
|---------------------|-------------|---------------|---------|
| RESISTENCIA         | 80          | 80            | 64      |
| REACTANCIA EN SERIE | 80          | 80            | 64      |
| AUTOTRANSFORMADOR   | 80          | 64            | 64      |
| ESTRELLA DELTA      | 100         | 33            | 33      |

De los métodos descritos podemos hacer algunas consideraciones al respecto:

- El arranque con cambio estrella- delta produce un par más bajo, por lo que sólo puede utilizarse para poner en marcha cargas que no opongan demasiada resistencia mecánica de arranque, como ventiladores.
- El arranque con autotransformador produce un par prácticamente proporcional al porcentaje en que se reduce la tensión aplicada.

- c. El arranque con resistencia serie permite par mayor que en el caso del autotransformador. Esto se debe al hecho de que la tensión que se aplica a las terminales del motor es de línea menos la caída en la resistencia que es igual al producto de la resistencia por la corriente de línea del motor. En el arranque, la corriente del motor es muy intensa y tiene un factor de potencia muy bajo y en ese momento es cuando la caída de la resistencia tiene el valor estipulado, que en este caso se fijó en 20 %. A medida que el motor se acelera, la corriente disminuye y por tanto, aparece una mayor tensión en las terminales del motor. Esto hace que el par del motor vaya incrementándose en forma proporcional al cuadrado del voltaje que aparece en dichas terminales.

En el arranque con reactancia en serie, el efecto mencionado es todavía más notable, en virtud de que la caída de tensión a través de la reactancia es el producto de ésta por la corriente (en extremo atrasada) que toma el motor en el arranque y como el ángulo de fase de tal corriente va cambiando a la vez que se reduce su intensidad, el par del motor se va acercando al valor que tendría a tensión plena, ya que la tensión en las terminales es cada vez más próximo al nominal a medida que la velocidad del motor aumenta.

#### IV.3.4 INVERSIÓN DE LA ROTACIÓN

*Frecuencia de las inversiones de rotación necesarias.* Una gran frecuencia de inversiones de rotación impone grandes exigencias sobre el controlador y el sistema de distribución eléctrica. También puede necesitarse un motor especial para este tipo de casos. Asimismo, debe prestarse especial atención a los dispositivos de protección para arranque y marcha, a fin de evitar fallas innecesarias.

#### IV.3.5 CONTROL DE LA VELOCIDAD

El control de la velocidad del motor es esencial, no solamente para hacerlo funcionar, sino para controlar su velocidad durante la marcha. Respecto al control de la velocidad, se deben considerar las siguientes condiciones:

*Velocidad constante.* En una bomba de agua se usa un motor de velocidad constante. Como prácticamente funciona a la misma velocidad bajo una carga, normal, la velocidad constante es esencial para los grupos moto-generadores, en cualesquiera condiciones de carga. Los motores de velocidad constante se usan en unidades de acoplamiento directo en la carga de 80 rpm, con potencias hasta de 5,000 HP.

*Velocidad variable.* Para una grúa o elevador, una velocidad variable es, usualmente, la mejor. En este tipo de trabajo, la velocidad variable del motor disminuye con seguridad al aumentar la carga, y aumenta cuando ésta se reduce a fin de conducirla rápidamente.

*Velocidad ajustable.* Con los controles para ajustar la velocidad, un operario puede regularla gradualmente, en una amplitud considerable, durante la marcha. La velocidad también puede fijarse previamente, pero una vez ajustada permanece relativamente constante con cualquier carga dentro de la capacidad del motor.

*Velocidad múltiple.* Se utiliza una velocidad característica en un motor de velocidad múltiple como el que se usa en un torno revólver. Aquí, la velocidad se puede fijar en dos o más grados definidos, permaneciendo prácticamente constante, independientemente de los cambios en la carga.

### IV.3.6 PROTECCIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN

Como cualquier equipo eléctrico, los motores de inducción deben contar con mecanismos destinados a la protección de estos. Dicha protección forma parte del sistema de control pero ocupa una parte esencial en el correcto funcionamiento preventivo del equipo en cuestión, por lo que observaremos un poco más de cerca las características de protección y qué tipo debe incluirse en la instalación individual de control en cada motor.

#### IV.3.6.1 TIPOS DE PROTECCIÓN

**Protección contra sobrecarga.** La protección durante la marcha y contra sobrecarga, se refiere al mismo caso. La protección contra sobrecarga es una característica esencial de todos los controladores, que se diseña para proteger adecuadamente un motor y obtener, aun, su máxima potencia disponible bajo cierta variedad de condiciones de sobrecarga y temperatura. La sobrecarga puede originarse por un exceso de carga en la máquina impulsada, por una tensión baja en la línea, o por una línea abierta en un sistema polifásico, lo que resulta en operación monofásica.

**Protección contra fase abierta.** La falla de una fase en un circuito trifásico puede producirse por un fusible fundido, una conexión abierta o una línea rota. Si ocurre la falla de una fase cuando el motor se encuentra en reposo, se originarán corrientes en el estator y permanecerán a un valor muy alto, pero el motor continuará estacionario. Como los devanados no están debidamente ventilados mientras el motor está parado, el calentamiento producido por las corrientes altas dañará, muy probablemente, los embobinados. También pueden existir situaciones peligrosas mientras el motor se encuentra funcionando.

**Protección contra inversión de fase.** Si se intercambian dos fases de la línea de alimentación de un motor trifásico de inducción, éste invertirá su dirección de rotación. Esto se denomina inversión de fase. En la operación de un elevador y en aplicaciones industriales, esto resultaría un daño grave. Los relevadores de falla de fase y de inversión de fase, protegen a los motores, las máquinas y al personal contra riesgos en los casos de fase abierta o inversión de fase.

**Protección durante el curso.** En los circuitos de control de los arrancadores magnéticos, se utilizan dispositivos piloto para gobernar el arranque, la parada o la inversión de la rotación de los motores eléctricos. Pueden usarse, indistintamente, como dispositivos de control para operación regular o como interruptores de emergencia para impedir funcionamiento incorrecto de la maquinaria. Pueden usarse en sistemas de control automático, a fin de evitar la posibilidad del error humano en la operación de una máquina.

**Protección contra sobrevelocidad.** En ciertos motores es posible que se desarrollen velocidades excesivas que pueden dañar una máquina impulsada, materiales en el proceso industrial, o el motor. La protección contra s velocidad puede comprender la selección y uso adecuado del equipo de control en aplicaciones tales como plantas de papel e impresión, fábricas de productos de acero, plantas de proceso industria textil.

**Protección mecánica.** Una carcasa para una aplicación particular puede contribuir considerablemente a la duración y la operación sin dificultades de un motor y un controlador. Todas las carcasas, como las de propósito general, herméticas, a prueba de polvo, a prueba de explosión y resistentes a la corrosión, tienen aplicaciones e instalaciones específicas.

**Protección contra corto circuito.** Generalmente, la protección contra corto circuito se instala en la misma envolvente que el medio de desconexión del motor, usualmente para motores más grandes que los fraccionarios. Los fusibles que se instalan para este propósito, y los cortacircuitos, son dispositivos de sobrecorriente que tratan de proteger los conductores del circuito derivado del motor, los aparatos de control de éste, y también a los motores en contra de una sobrecorriente sostenida debida a corto circuitos, escapes a tierra y corrientes prolongadas y excesivas de arranque.

#### IV.3.6.2 LOS RELEVADORES COMO MEDIO DE PROTECCIÓN

La protección contra sobrecargas en un motor de inducción, es necesaria para evitar que se queme y para asegurar una duración máxima de operación. Los motores de inducción, si se les permite, funcionarán con una salida mayor de su capacidad nominal. Se puede originar una sobrecarga en el motor, al sobrecargarse la maquinaria impulsada por una tensión baja en la línea, o a causa de una línea abierta en un sistema polifásico, lo que da por resultado una operación monofásica. Bajo cualquier condición de sobrecarga, un motor toma una corriente excesiva que causa el sobrecalentamiento. Como el aislante del devanado del motor se deteriora cuando se somete a sobrecalentamiento, existen límites establecidos para las temperaturas de operación del motor. Para proteger un motor contra sobrecalentamientos, se emplean relevadores de sobrecarga en un arrancador para limitar a cierto valor predeterminado la cantidad de corriente que toma. Ésta es la *protección contra sobrecarga o de marcha*.

Los relevadores de sobrecarga de un arrancador funcionan para impedir que un motor tome una corriente excesiva que puede destruir su aislante. Los elementos térmicos o magnéticos, sensibles a la corriente, de los relevadores de sobrecarga, se conectan ya sea directamente en las líneas del motor, o indirectamente en ellas, a través de transformadores de corriente. Los relevadores de sobrecarga actúan para desconectar el arrancador y parar el motor cuando se toma una corriente excesiva.

#### IV.3.7 SISTEMAS DE ARRANQUE Y CONTROL

Existe una gran variedad de sistemas de arranque y control a los que podemos recurrir, la gran cantidad de sistemas automáticos de arranque y control que pueden usarse, se dividen en las siguientes clasificaciones generales:

**Aceleración por retardo de tiempo:** Éste es del tiempo definido, del tipo periodo de control de tiempo. Una vez que se ajusta el periodo de control de tiempo, no cambia, independientemente de los cambios de corriente o tensión que se encuentren con la aceleración del motor. Los siguientes tipos de controles de tiempo y métodos, se emplean para, la aceleración del motor; algunos también se utilizan en los métodos de interconexión de los sistemas de control.

1. Relevadores de amortiguador individual
2. Relevadores de amortiguador de circuito múltiple
3. Control neumático de tiempo
4. Aceleración de límite de tiempo inductivo
5. Controles de tiempo impulsados por motor
6. Control de tiempo por capacitor.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La construcción compacta de este dispositivo permite montarlo en la maquinaria impulsada en otros lugares diversos, cuando el espacio disponible es pequeño.

#### IV.3.8 CONTROL REMOTO Y AUTOMÁTICO

El control de motores eléctricos se ha asociado tradicionalmente con el estudio de los dispositivos eléctricos que intervienen para cumplir con las funciones descritas anteriormente; sin embargo, en la actualidad el concepto de control de motores eléctricos, no sólo se refiere a los dispositivos eléctricos convencionales, también a dispositivos electrónicos, cuyo estudio se relaciona con la llamada electrónica de potencia, lo cual da un mayor grado de complejidad a los circuitos de control y por lo cual, su estudio requeriría de mayor detalle, no sólo en las componentes, sino también en la variedad de circuitos para distintas funciones que se presentan en las instalaciones industriales.

El motor se puede controlar desde un punto alejado, usando estaciones de botones. Deben incluirse interruptores magnéticos con las estaciones de botones para control remoto, o cuando los dispositivos automáticos no tengan la capacidad eléctrica para conducir las corrientes de arranque y marcha del motor. Si éste se controla automáticamente, pueden usarse los siguientes dispositivos.

El controlador de un motor eléctrico es un dispositivo que se usa normalmente para el arranque y paro, con un comportamiento en forma determinada y en condiciones normales de operación.

El controlador puede ser un simple desconectador (interruptor) para arrancar y parar al motor, también una estación de botones para arrancar a éste en forma local o a control remoto. Un dispositivo que arranque el motor por pasos o para invertir su sentido de rotación, puede hacer uso de las señales de lo elementos por controlar, como son: temperatura, presión, nivel de un líquido o cualquier otro cambio físico que requiera el arranque o paro del motor, y que evidentemente le dan un mayor grado de complejidad.

Cada circuito de control, por simple o complejo que sea, está compuesto de un cierto número de componentes básicas conectadas entre sí para cumplir con un comportamiento determinado. El principio de operación de estos componentes es el mismo, y su tamaño varía dependiendo de la potencia del motor que va a controlar, aun cuando la variedad de componentes para los circuitos de control es amplia. Los principales elementos eléctricos para este fin, son los que a continuación se mencionan:

1. Desconectores (interruptores).
2. Interruptores termomagnéticos.
3. Desconectores (interruptores) tipo tambor.
4. Estaciones de botones.
5. Relevadores de control.
6. Relevadores térmicos y fusibles.
7. Contactores magnéticos.
8. Lámparas piloto.
9. Interruptor de nivel, límite y otros tipos.



#### IV.3.8.1 DESCRIPCIÓN DE DISPOSITIVOS DE UN SISTEMA DE CONTROL

**Interruptor de flotador.** Es un interruptor de baja potencia de mando que convierte una acción de tipo mecánico dada por el nivel o posición del agua, en una señal eléctrica que actúa en el circuito de control del motor para arrancar o parar. Su uso más frecuente se encuentra en equipos para bombeo, o bien del tipo hidroneumático y su función principal, es mantener los valores límite (definidos por límite máximo y límite mínimo) en cisternas y tinacos. Existen distintas versiones constructivas de estos interruptores, pero todos se basan en el mismo principio y están constituidos por un conjunto de contactos que se accionan por dispositivos mecánicos, ajustando los rangos de apertura y cierre.

**Interruptor de presión.** Los interruptores de presión se emplean para controlar la presión de los líquidos y gases (aire) dentro de una amplitud deseada. Los compresores de aire, por ejemplo, se arrancan directa o indirectamente de acuerdo con la demanda de más aire, mediante un interruptor de presión.

**Reloj de control de tiempo.** Cuando se requiere un periodo definido de "cerrado y abierto" prácticamente, sin necesidad de ajustes para largos lapsos, pueden usarse relojes para control. Un arreglo típico es un motor que debe arrancar a la misma hora y detenerse cada noche a una hora determinada.

**Termostato.** junto con dispositivos piloto sensibles a los niveles de los líquidos, presiones de los gases, y hora del día, se utilizan ampliamente los termostatos sensibles a los cambios de temperatura. *Estos controlan indirectamente motores grandes en los sistemas de acondicionamiento de aire y en muchas*

aplicaciones industriales. Hay muchos tipos diferentes de termostatos e interruptores que funcionan por la acción de la temperatura.

**Interruptor de límite.** Los interruptores de límite se usan, probablemente, con más frecuencia, para parar máquinas, y equipo en proceso, durante el funcionamiento. Estos dispositivos piloto se emplean en circuitos de control de arrancadores magnéticos, para gobernar el arranque, el paro o la inversión de la rotación de los motores eléctricos.

#### **IV.3.8.2 INTERCONEXIÓN ELÉCTRICA O MECÁNICA CON OTRAS MÁQUINAS.**

Es posible, y probable, que muchos de los dispositivos piloto eléctricos que se describen, se conecten juntos en un sistema de interconexión en el que la operación final de uno o muchos motores depende de la posición eléctrica de cada dispositivo piloto individual. Un interruptor de flotador puede demandar más líquido, pero éste no fluirá hasta que lo admita un interruptor de presión o un reloj de control de tiempo. La obtención de la habilidad para comprender todo el sistema operacional y la función de los componentes individuales, es vital en el diseño, instalación y mantenimiento de los controles eléctricos en cualquier sistema de interconexión eléctrica o mecánica. Es posible, con la práctica, transmitir el conocimiento de circuitos y descripciones para la comprensión de otros controles semejantes.

### **IV.4 EFICIENCIA EN EL DESEMPEÑO DEL MOTOR**

La eficiencia del motor es una parte importantísima dentro de los parámetros del motor, debido a que la eficiencia es el principal elemento a medir para determinar el correcto desempeño de nuestro motor, en esta sección vamos a revisar los diferentes métodos que existen para determinar la eficiencia, así como la forma de medir las pérdidas en la eficiencia. Aunque existen varios métodos de medir la eficiencia de un motor, no es nada sencillo realizarlo.

#### **IV.4.1 MEDICION DE LA EFICIENCIA DE UN MOTOR**

Desde el punto de vista de la normalización, existe la norma IEEE-112 método B, la cual cuenta con cinco métodos para medir la eficiencia.

A.- Freno magnético ajustable

B.- Usando un dinamómetro

C.- Dos motores idénticos acoplados pero uno de ellos con alimentación ajustable para producir la carga deseada.

E.- Mediciones y cálculos

F.- Cálculos

Estos métodos se utilizan para motores nuevos, es decir, motores prototipo, sin embargo, diagnósticos energéticos o evaluaciones de motores, no se puede ni quitar de la máquina accionada, ni colocarle frenos u otros equipos de medición, por lo que tienen aplicación práctica.

##### **IV.4.1.1 DETERMINACIÓN PRÁCTICA DE LA EFICIENCIA DE UN MOTOR**

Básicamente existen dos formas:

Método del deslizamiento y el método de la eficiencia ajustada.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Método del Deslizamiento**

Usando un multímetro, un tacómetro y un factorímetro, se puede medir la tensión, la corriente, la velocidad en rpm y el factor de potencia del motor para un motor bajo condiciones normales de operación.

El deslizamiento del motor, puede ser usado para estimar la potencia de salida o entregada a la carga y consecuentemente la eficiencia del motor.

A partir del deslizamiento, calculamos la eficiencia del motor de la siguiente manera:

$$\text{Carga del motor} = \frac{S}{N_s - N_r} \dots (4)$$

$$\text{Potencia de salida} = \text{Carga del motor} * \text{Potencia nominal del motor} \dots (5)$$

Y la ecuación (22') del capítulo III:

$$\eta = \frac{0.746 * \text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}}$$

S = Deslizamiento

$N_s$  = Velocidad Síncrona

$N_r$  = Velocidad del rotor

$N_p$  = Velocidad de placa

$\eta$  = Eficiencia del motor

**EJEMPLO**

La velocidad síncrona de un motor de 25 HP en polos es de 1800 rpm, la velocidad de placa de acuerdo al fabricante es de 1750, la velocidad medida por medio de un tacómetro es de 1770 rpm, y la potencia demandada o de entrada del motor es de 13.1 kW.

Por lo que:

$N_s$  = 1800 rpm

$N_r$  = 1770 rpm

$N_p$  = 1750 rpm

HP de placa = 25 HP

KW medidos = 13.1 kW

Utilizando las ecuaciones (4), (5) y III (22')

$$S = 1800 - 1770 = 30 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga del motor} = \frac{30}{1800 - 1750} = \frac{30}{50} = 0.6$$

$$\text{HP de salida} = 0.6 * 25 = 15$$

$$\eta = \frac{0.746 * 15}{13.1} * 100 = 85\%$$

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

la técnica del deslizamiento para determinar la carga y la eficiencia del motor no debe ser usada con motores reembobinados o que no están operando a la tensión de diseño. Es necesario hacer notar que esta

técnica no proporciona resultados muy precisos en campo, sin embargo para efectos prácticos de mediciones esta técnica es una buena alternativa para evaluar la eficiencia.

#### Método de la Eficiencia Ajustada

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

Con estos valores y con ajustes en base a 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.

### IV.4.2 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DEL MOTOR

#### IV.4.2.1 VARIACIÓN DE TENSIÓN

La tensión 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 tensión.

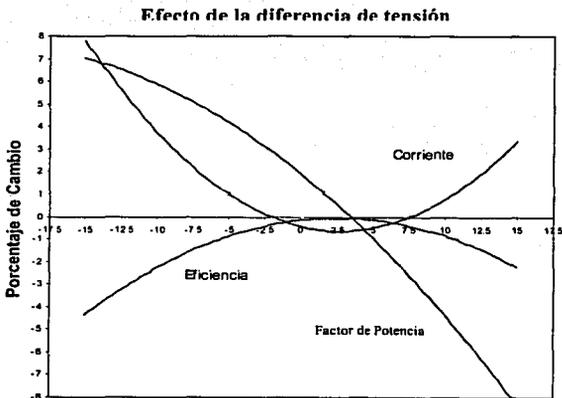


FIGURA IV.4 Gráfica del efecto de la variación de tensión

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Motor con Sobretensión:** Provoca reducción de la eficiencia, incremento en el factor de potencia y en 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 sobrecalienta, dañando prematuramente los aislamientos del motor y disminuyendo su vida útil.

#### IV.4.2.2 DESBALANCEO DE TENSIÓN

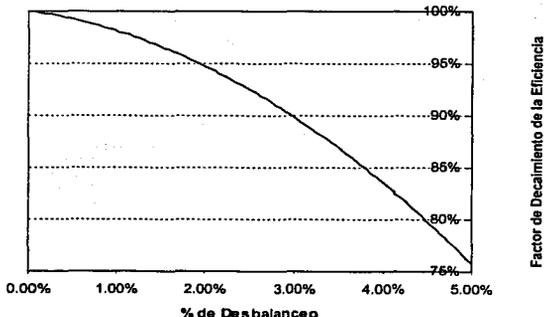
Cuando las tensiones de alimentación no son iguales entre si, la eficiencia del motor se disminuye en forma notable, a medida que aumenta dicho desbalanceo.

Esto es debido a que la tensión desbalanceada 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 de desequilibrio de tensión.

**Caída de la eficiencia por desbalanceo de tensión**



**FIGURA IV.5** Gráfica del factor de decaimiento por desbalanceo de tensión

#### Causas Más Comunes del Desbalanceo de Tensión

- Falla en la operación de bancos de capacitores.
- Desbalanceo o inestabilidad en el suministro eléctrico.
- Mala distribución de cargas monofásicas.
- Fallas del sistema de tierra.
- Circuito abierto en el primario del sistema de distribución.

EST  
DE

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Para verificar que una instalación esta correctamente balanceada, se deben realizar las siguientes acciones:

- Revisar mediante el diagrama eléctrico o unifilar que las cargas monofásicas estén uniformemente distribuidas.
- Checar periódicamente las tensiones en todas las fases.
- Revisar de manera constante la correcta operación de los bancos de capacitores.
- Instalar indicadores de fallas a tierra.
- Corregir inmediatamente cuando exista un desbalanceo de tensión cercano al 1%.

#### IV.4.2.3 EFICIENCIA SEGÚN FACTOR DE CARGA

Los motores eléctricos tienen una curva de comportamiento de eficiencia de acuerdo al factor de carga al que están operando.

Esta curva la define el diseño del fabricante y generalmente existen diferencias entre ellos, a veces de gran consideración.

Para efectos del presente trabajo, tomaremos como base de evaluación, la figura IV.6, la cual es la curva de eficiencia de un motor de inducción típico.

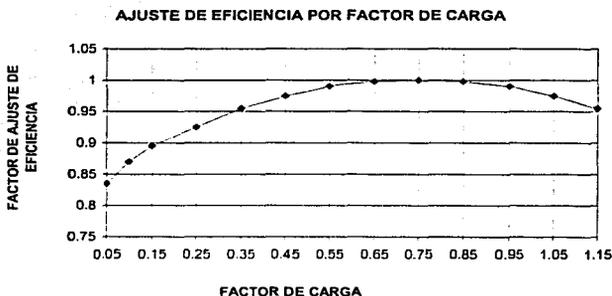


FIGURA IV.6 Gráfica del factor de ajuste de eficiencia por factor de carga

Suponiendo que se tuvieran los datos de eficiencia a diferentes factores de carga, es decir, al 25, 50, 75 y 100%, se podría hacer una interpolación, de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\text{Factor de Interpolación} = \frac{F_c 1 - F_c X}{F_c 1 - F_c 2} \dots (6)$$

Donde:

$F_c 1$  es el factor de carga superior conocido

$F_c 2$  es el factor de carga inferior conocido

$F_c X$  es el factor de carga al que se encuentra trabajando el motor

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

El factor de ajuste es:

$$Y = Y_1 - \text{Fac de Int.} (Y_1 - Y_2) \dots (7)$$

Donde:

Y es la Eficiencia Actual

$Y_1$  es la eficiencia al valor superior

$Y_2$  es la eficiencia al valor inferior

La Norma Oficial Mexicana NOM-16-1997 (eficiencia energética) establece los valores de eficiencia. Esta norma se aplica a los motores de inducción trifásicos en potencias de 0,746 kW (1 CP(1)) hasta 149,2 kW (200 CP), comercializados en la República Mexicana.

De acuerdo con su eficiencia los motores de inducción se clasifican en:

- Motor estándar o común
- Motor alta eficiencia

Y acuerdo con su sistema de enfriamiento

- Motor abierto
- Motor cerrado

Cualquier motor de uso general común, fabricado (solo o como parte de otro equipo) a partir de la fecha de entrada en vigor de esta norma debe cumplir con los valores de eficiencia a plena carga de las Tablas de los ANEXOS 3 y 4.

## IV.5 CAMBIO DE HORARIO PARA LA OPERACIÓN DEL MOTOR

En los momentos pico el costo de generación es mucho mayor debido a que se ponen en operación equipos de baja eficiencia, pero de rápida respuesta. Por esta razón, en las tarifas se han dividido los periodos de consumo en horas base, intermedia, punta y, en ocasiones, semipunta. Es importante mencionar que la tarifa en horas punta es la más alta.

La estrategia de la administración de la energía consiste en desplazar la operación de algunos equipos del horario punta a los horarios base e intermedia. Por lo tanto, esta medida sólo aplica para los usuarios de las tarifas HM, HS, HSL, HT, y HTL.

### IV.5.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

- I. Seleccionar el motor con posibilidad de cambio de horario.
- II. Establecer el horario actual de operación del motor.
- III. Establecer el nuevo horario de operación del motor.
- IV. Determinar los costos de operación por consumo de energía del motor, en el horario actual y en el nuevo horario.
- V. Calcular el ahorro económico por el cambio de horario.
- VI. Determinar la rentabilidad de la medida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**IV.5.2 CASO PRÁCTICO****I. Seleccionar el motor con posibilidad de cambio de horario**

El motor que se utilizará para realizar esta evaluación será el siguiente:

| Potencia (HP) | Tensión (V) | Corriente (A) | Velocidad (rpm) | Tipo de Motor <sup>1</sup> |
|---------------|-------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| 20            | 220         | ---           | 3,600           | Cerrado                    |

<sup>1</sup> Abierto, Cerrado con ventilación, A prueba de explosión

**II. Establecer el Horario Actual de Operación del Motor**

El horario actual de operación del motor en los periodos de base, intermedia y punta es el siguiente:

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Horas base al año       | 2,419 |
| Horas intermedia al año | 4,121 |
| Horas punta al año      | 660   |

A manera de verificación, las horas totales al año en los periodos intermedia, base y punta se dividen de la siguiente manera:

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Horas base al año       | 2,943 |
| Horas intermedia al año | 5,014 |
| Horas punta al año      | 803   |

Comparando las horas de operación del motor con la distribución de las horas totales al año, corroboramos que la distribución de horas del motor no sobrepasa las horas existentes en cada periodo.

**III. Establecer el Nuevo Horario de Operación del Motor**

Se sugiere en este caso transferir todas las horas de periodo punta al horario considerado como periodo intermedio, y con esto disminuir el costo de la energía.

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| Horas base al año       | 2,419 |
| Horas intermedia al año | 4,781 |
| Horas punta al año      | 0     |

**IV. Determinar los Costos de Operación por Consumo en el Horario Actual y el Nuevo Horario**

La demanda de este motor es de 9.12 kW (potencia medida)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**COSTOS DE OPERACIÓN EN EL HORARIO ACTUAL**

|                    |           |               |                  |                        |
|--------------------|-----------|---------------|------------------|------------------------|
| Horario base       | = 9.12 kW | × 2,419 h/año | × 0.26892 \$/kWh | = 5,933 \$/año         |
| Horario intermedio | = 9.12 kW | × 4,121 h/año | × 0.32202 \$/kWh | = 12,103 \$/año        |
| Horario punta      | = 9.12 kW | × 660 h/año   | × 0.26892 \$/kWh | = 6,058 \$/año         |
| <b>Total</b>       |           |               |                  | <b>= 24,094 \$/año</b> |

**COSTOS DE OPERACIÓN EN EL NUEVO HORARIO**

|                    |           |               |                  |                        |
|--------------------|-----------|---------------|------------------|------------------------|
| Horario base       | = 9.12 kW | × 2,419 h/año | × 0.26892 \$/kWh | = 5,933 \$/año         |
| Horario intermedio | = 9.12 kW | × 4,781 h/año | × 0.32202 \$/kWh | = 14,041 \$/año        |
| Horario punta      |           |               |                  |                        |
| <b>Total</b>       |           |               |                  | <b>= 19,974 \$/año</b> |

**V. Calcular los ahorros económicos**

El ahorro económico se calculará de la siguiente manera:

|  |
|--|
| <b>AHORRO ECONÓMICO = COSTO CON HORARIO ACTUAL - COSTO CON NUEVO HORARIO</b> |
| <i>Ahorro económico = 24,094 \$/año - 19,974 \$/año</i>                      |
| <b>Ahorro económico = 4,120 \$/año</b>                                       |

**VI. Rentabilidad de la medida**

Para este caso la recuperación es inmediata debido a que no se necesita realizar inversión para llevar a cabo esta medida.

**IV.6 REUBICACIÓN DE MOTORES**

Un bajo factor de carga en el motor reduce la eficiencia del mismo, especialmente cuando trabaja abajo del 40% de su carga nominal, incrementándose con esto los costos de operación. Esta situación es común encontrarla en algunas industrias, y si los motores operan de esta manera se debe a las siguientes razones:

- La maquinaria está diseñada para mayores capacidades de producción y se encuentra sub-utilizada.
- El personal no determinó la carga requerida al realizar la compra de un motor y seleccionó un motor más grande que el necesario.
- Se consideraron futuros incrementos en la producción.
- Se reemplazó un motor quemado por una unidad de mayor capacidad al no tener uno de la capacidad adecuada
- Los requerimientos del proceso disminuyeron.

Una manera de corregir lo anterior es cambiar la aplicación que tenga el motor en ese período, con el fin de lograr una mejoría en el factor de carga. Los costos de operación al tener en funcionamiento un motor con bajo factor de carga se incrementan debido a que la eficiencia del motor disminuye considerablemente.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

#### IV.6.1 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

- I. Seleccionar el motor con bajo factor de carga.
- II. Determinar el factor de carga del motor que reemplazará al motor actual.
- III. Identificar la nueva aplicación para el motor.
- IV. Determinar la eficiencia del motor con la nueva aplicación al factor de carga propuesto.
- V. Evaluar el ahorro de energía.
- VI. Calcular el ahorro económico.
- VII. Determinar la rentabilidad de la medida.

#### IV.6.2 CASO PRÁCTICO

##### I. Seleccionar el Motor con Bajo Factor de Carga

Se tiene un motor:

| Potencia (HP) | Tensión (V) | Corriente (A) | Velocidad (rpm) | Tipo de Motor <sup>1</sup> |
|---------------|-------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| 20            | 220         | ---           | 3.600           | Cerrado                    |

<sup>1</sup> Abierto, Cerrado con ventilación, A prueba de explosión

El cual está trabajando a un bajo factor de carga (de 53.8%); de este motor se tienen mediciones de la potencia (potencia medida = 9.12 kW) y se conoce que la eficiencia nominal es de 88.01% y la eficiencia ajustada es 83.06% (que es la eficiencia real de operación).

Por otra parte se tiene un motor en el almacén de 15 HP que acaba de ser reemboinado y se piensa sustituirlo por un motor de 20 HP.

Con este cambio se espera disminuir el consumo de energía anual de este equipo.

##### II. Determinar el Factor de Carga del Motor que Reemplazará al Motor Actual

$$FC_{MR} = \frac{\text{Potencia en la flecha (kW)}}{\text{Potencia nominal MR (kW)}} = \frac{7.58 \text{ kW}}{(15 \text{ hp} \cdot 0.746 \text{ kW/hp})}$$

$$FC_{MR} = 67.7 \%$$

##### III. Determinar la Eficiencia del Motor que Reemplazará al Motor Actual

$$\eta_{MR} = [(\eta_{FC} - \Delta VV)\Delta DV] - \Delta R \quad \dots (8)$$

Calculando la eficiencia del motor de reemplazo  $\eta_{MR}$

Para determinar la eficiencia del motor de reemplazo se considera que se tiene una variación de voltaje general en la planta del 5%; por lo tanto, el  $\Delta VV = -0.5 \%$ , además se considera que el nuevo motor no presenta problemas de desbalanceo de voltaje,  $\Delta DV = 1$  y se le considera un factor de seguridad de reemplazo  $\Delta R$  de 1.5%.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

$$\eta_{MR} = (\eta_{FC} - \Delta VV) - \Delta R \quad \dots (9)$$

Datos:

|             |        |                    |
|-------------|--------|--------------------|
| $FC_{MR} =$ | 67.7%  | $\eta_{MR} = ?$    |
| $FC_1 =$    | 50.00% | $\eta_1 = 84.79\%$ |
| $FC_2 =$    | 75.00% | $\eta_2 = 86.32\%$ |

$$\eta_{FC} = \eta_1 - \left[ \left( \frac{FC_1 - FC_{MR}}{FC_1 - FC_2} \right) \times (\eta_1 - \eta_2) \right] = 84.79 - \left[ \left( \frac{50.00 - 68.01}{50.00 - 75.00} \right) \cdot (84.79 - 86.32) \right]$$

$$\eta_{FC} = 85.87\%$$

$$\eta_{MR} = 85.87 - 0.5 - 1.5$$

$$\eta_{MR} = 83.87\%$$

#### IV. Evaluar la Disminución en Demanda y los Ahorros de Energía

$$\text{Disminución en Demanda (kW)} = (0.746 \text{ kW/hp}) \left( \frac{FC_{MA} \times \text{Potencia nominal MA}}{\eta_{MA}} - \frac{FC_{MAE} \times \text{Potencia nominal MAE}}{\eta_{MAE}} \right) \quad \dots (10)$$

$$\text{Disminución en Demanda (kW)} = (0.746 \text{ kW/hp}) \left( \frac{53.80 \times 20}{83.06} - \frac{67.7 \times 15}{83.87} \right)$$

Los subíndices MA, se refieren a los valores del motor actual.  
Los subíndices MAE, se refieren a los valores del motor actual reubicado.

Disminución en demanda=0.63 kW

A continuación se determina el ahorro de energía en consumo, sabiendo que el motor opera 2,419 horas en periodo base al año, 4,121 horas en intermedia y 660 horas en punta durante un año.

$$\text{Ahorro en Consumo (kWh)} = (\text{kWhorro en demanda}) \times (\text{horas operación del motor})$$

$$\text{Ahorro en Consumo (kWh/año)}_{\text{base}} = (0.63 \text{ kW}) \times (2,419 \text{ h/año}) = 1,524 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro en Consumo (kWh/año)}_{\text{int ermedia}} = (0.63 \text{ kW}) \times (4,121 \text{ h/año}) = 2,596 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro en Consumo (kWh/año)}_{\text{punta}} = (0.63 \text{ kW}) \times (660 \text{ h/año}) = 416 \text{ kWh/año}$$

$$\text{Ahorro en consumo total} = 4,536 \text{ kWh/año}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**V. Calcular el Ahorro Económico**

Para calcular los ahorros económicos se tomarán los costos de energía eléctrica para la tarifa HM en la región central vigentes al mes de marzo de 1999, mismos que se indican a continuación:

53.284 \$/kW

0.26892 \$/kWhbase

0.32202 \$/kWhintermedia

1.00642 \$/kWhpunta

*Ahorro Económico por demanda* = Disminución en Demanda (kW<sub>en demanda</sub>) × (\$/kW) × 12 meses/año

$$\text{Ahorro Económico por demanda} = 0.63 \cdot 53.284 \cdot 12 = 403 \text{ \$/año}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro Económico por consumo} &= (1,524 \cdot 0.26892) + (2,596 \cdot 0.32202) + (416 \cdot 1.00642) \\ &= 1,664 \text{ \$/año} \end{aligned}$$

$$\text{Ahorro Económico total} = 2,067 \text{ \$/año}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**VII. Calculando la rentabilidad de la medida**

Para este caso la inversión es nula, debido a que la reubicación del motor se puede realizar con el presupuesto destinado al mantenimiento preventivo de la empresa.

**IV.7 REPARACIÓN DE MOTORES**

Las fallas en los motores eléctricos tienen con frecuencia su origen en desperfectos mecánicos, muchas veces acompañados por daños severos en el aislamiento de los devanados, por lo que es necesario su rebobinado o su sustitución.

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

Cuando hay que decidir entre rebobinar un motor quemado o comprar uno nuevo ya sea estándar o de alta eficiencia; se pueden obtener los ahorros anuales asumiendo que el motor existente opera a la eficiencia promedio de los motores del mercado que se fabricaron en esta época.

Si bien es técnicamente imposible reparar un motor para que mantenga sus condiciones originales de desempeño en la práctica ha demostrado que la eficiencia se reduce con frecuencia de 1.5 a 2.5% cada vez que un motor se rebobina en talleres especializados y porcentajes bastante mayores, en lugares donde no se cuenta con el equipo adecuado ni personal calificado para realizar las composturas.

Considerando la pérdida de eficiencia, el rebobinado es efectivo sólo si se presentan una o más de las siguientes condiciones:

- Capacidad del motor de más de 125 HP
- Ciclo de operación menor de 2000 hrs/año

- El motor es muy eficiente o de alta eficiencia
- El costo del servicio eléctrico es bajo

En otros casos la sustitución del motor fallado por otro nuevo de alta eficiencia puede ser una buena opción. La decisión se debe basar en un análisis cuidadoso en función del costo de la reparación, la ganancia en la eficiencia con el motor nuevo, el costo inicial de éste, las horas de operación, el factor de carga y el precio de la electricidad.

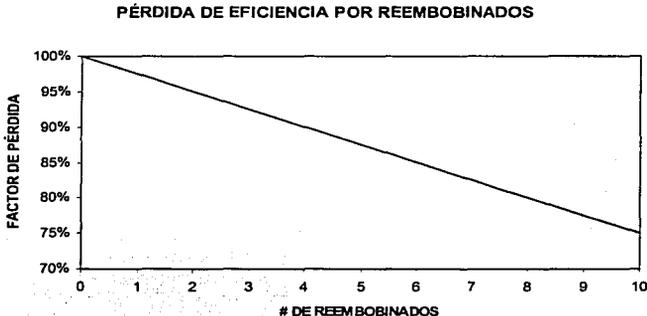


FIGURA IV.7: Pérdida de eficiencia por reembobinados

### IV.8 SOBREDIMENSIONAMIENTOS DE MOTORES

Como se ha mencionado, los motores comunes operan a una mayor eficiencia cuando trabajan cerca de su potencia nominal; sobrecargarlos no sólo representa mayores pérdidas, si no el deterioro acelerado de sus aislamientos y si no se toman previsiones, el motor puede quemarse. Sin embargo, en las instalaciones, en particular, en las industriales, es más frecuente encontrar motores que operan con baja carga que sobrecargados; esto es, están sobredimensionados. Las razones van desde una selección inadecuada de origen de la potencia del motor, hasta la sustitución de un motor averiado por otro de mayor potencia del que se dispone en el momento y que, desafortunadamente, se deja conectado de manera permanente.

En el caso de motores de inducción con la ayuda de equipo de medición convencional: wattmetro y tacómetro, es posible medir en campo, con relativa certeza, la potencia y la eficiencia real a la que está trabajando.

La potencia demandada por la carga se puede calcular aplicando siguiente expresión:

$$CP_r = L * CP_n \dots (11)$$

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Donde:

CP<sub>r</sub> = Potencia real en la flecha

CP<sub>n</sub> = Potencia nominal en la flecha

L = Factor de carga

El factor de carga se determina como se indica a continuación:

$$L = \frac{N_s - N_r}{N_s - N_n} \dots (12)$$

Donde:

N<sub>s</sub> = Velocidad de sincronismo (rpm)

N<sub>r</sub> = Velocidad real en la flecha (rpm)

N<sub>n</sub> = Velocidad nominal (rpm)

Por ejemplo, un motor común de 10 HP, 4 polos, 60 Hz, 1745 rpm de placa nominal, toma una potencia eléctrica de la red de 3.8 KW trabajando a una velocidad de 1778 rpm.

Para este motor de 4 polos y 60 Hz, la velocidad de sincronismo está dada por la ecuación ( 8' ) del capítulo III.

$$N_s = 120 * (60 / 4) = 1800 \text{ rpm}$$

de esta manera aplicando la formula se tiene:

$$L = \frac{1800 - 1778}{1800 - 1745} = 0.4$$

$$CP_r = 0.4 * 10 = 4 \text{ HP}$$

$$\eta = \frac{4.0 * 0.746}{3.8} = 79\%$$

El accionamiento no requiere de una potencia mayor de la estimada, el motor puede ser sustituido por otro de alta eficiencia de 5 HP, con una eficiencia alrededor del 87%, y ahorros de energía que pueden ser significativos, dependiendo de sus horas de operación y del costo de la electricidad.

Adicionalmente se contribuye a mejorar el factor de potencia, ya que este decrece sensiblemente en motores con cargas por debajo del 50% de su potencia nominal.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## IV.9 MANTENIMIENTO DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

Como se ha señalado, los motores que han fallado no son los únicos candidatos para sustituirse por motores de alta eficiencia; de hecho existen oportunidades de obtener ahorros sustanciales, reemplazando motores que se tienen en operación, especialmente motores viejos, motores con varias reparaciones o motores sobredimensionados. Además, desde el punto de vista del mantenimiento preventivo, suele ser conveniente cambiar motores antes de que fallen, y que mejor que utilizar para el reemplazo uno de alta eficiencia.

Para iniciar un programa de mejora en motores eléctricos dentro de la instalación de una planta, se deben determinar los mejores candidatos para ser reemplazados. Esto requiere de un cuidadoso análisis del desempeño histórico de las máquinas, en particular de las reparaciones que han tenido. Un valioso auxiliar son los resultados de las pruebas a las que son sometidos para verificar que se mantienen en condiciones adecuadas de operación y tomar ciertas acciones preventivas.

Es muy necesario hablar del mantenimiento a los motores de inducción, ya que en la gran mayoría de las industrias, pero en especial las pequeñas y medianas empresas que no cuentan con personal asignado a éstas actividades específicas; no le dan al mantenimiento la importancia requerida.

Sin embargo, es de vital importancia darle al equipo el mantenimiento adecuado, ya que de ello depende en gran medida la vida útil del equipo, el consumo correcto de energía y evitar paros no programados para reemplazar equipos fallados.

Además de esto, el mantener en buenas condiciones de operación tanto al motor como a los mecanismos y sistemas electromotrices asociados provocan un ahorro considerable de energía.

Es muy importante considerar el tipo de mantenimiento adecuado para cada motor, ya que desde su instalación se deben tener las consideraciones y preparativos necesarios, para garantizar una adecuada instalación y por lo mismo una larga vida útil.

### IV.9.1 QUE ES EL MANTENIMIENTO

El mantenimiento es un conjunto de actividades dirigidas a garantizar el funcionamiento de un equipo o de una planta en las condiciones para las que se diseñó y sin tener que hacer paros no programados.

El mantenimiento es un conjunto de una serie de actividades entre las que destacan:

- Vigilancia e inspección del mantenimiento
- Registro y actualización de los archivos de datos
- Programación de paros
- Realización de desmontajes y reparaciones
- Gestión de compra y almacenamiento de materiales
- Actualización de fichas técnicas de mantenimiento de los equipos
- Dar información a la administración de los costos y resultados
- Calcular la vida útil de las refacciones más utilizadas y los equipos
- Supervisión y administración de las actividades de reparación montaje y desmontaje
- Utilización de refacciones adecuadas a los requerimientos del proceso y de buena calidad



Las finalidades del mantenimiento son básicamente las siguientes:

- ▶ Reducción de los costos energéticos
- ▶ Prolongación de la vida útil del equipo
- ▶ Aseguramiento de un servicio satisfactorio
- ▶ Maximización de la producción
- ▶ Eliminación de paros no previstos por fallas de equipos

Existen tres tipos de mantenimiento, que son los presentados a continuación.

#### IV.9.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Este tipo de mantenimiento se basa en la experiencia acumulada en instalaciones semejantes, para establecer un programa de actividades, dentro de las que se incluyen:

- ✓ Verificaciones y controles
- ✓ Lubricación y limpieza
- ✓ Ajuste y apriete de elementos
- ✓ Sustitución de piezas desgastadas
- ✓ Desmontajes parciales o totales
- ✓ Sustitución completa al final de la vida útil

El programa de mantenimiento preventivo aunque es muy sencillo de llevar a cabo, frecuentemente falla por problemas internos y problemas administrativos y no por problemas técnicos.

Para que el programa tenga éxito, el responsable de mantenimiento debe dedicarle tiempo necesario a la implementación de este y convencer a sus superiores para establecer un sistema eficaz y por lo tanto evitar que el programa se convierta en uno de mantenimiento correctivo.

A continuación mencionaremos algunas de las pruebas que se realizan a los motores después de haber recibido un mantenimiento preventivo:

- a) Prueba de aislamiento contra tierra.
  - Prueba con megóhmetro
  - Prueba de sobrepotencial a tierra
  - Prueba de alto voltaje de CD a tierra
- b) Cortocircuitos
  - Campos en derivación
  - Campos del rotor
  - Bobinas en serie
  - Estatores polifásicos de ca
- c) Circuitos abiertos
  - Armaduras de CD
  - Estatores polifásicos

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### IV.9.3 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Este mantenimiento se basa en la reparación del problema cuando este sucede, por lo que es necesario gran cantidad de refacciones en almacén, e inclusive equipos completos para solamente sustituir, disponibilidad de expertos casi inmediata, etc.; por estas razones no es recomendable este tipo de mantenimiento, ya que provoca muchos paros de planta y por lo tanto un mayor costo real.

Dentro de este mantenimiento correctivo, tenemos dos tipos:

#### Mantenimiento correctivo teórico

Este mantenimiento se puede aplicar cuando se tienen conocimientos en las probabilidades de la causa que ocasiona el desperfecto en el motor eléctrico. Por otro lado el diagnóstico eficaz de dificultades es un método analítico de las reparaciones y mantenimiento del motor, la experiencia es muy valiosa pero no sustituye a un método lógico combinado con conocimientos básicos de electricidad y de diseño de motores.

Para la inspección de motores se requiere de una cantidad mínima de instrumentos como se indica a continuación:

- Amperímetro indicador portátil
- Voltímetro indicador portátil
- Megóhmetro de 500 volts
- Contador de vueltas manual
- Dinamómetro de resorte de 0 a 20 lbs
- Multímetro
- Amperímetro y voltímetro de gancho
- Indicador portátil, de secuencia de fases
- Micrómetro de carátula con soporte magnético

#### Mantenimiento correctivo Práctico

En este caso hay que hacer varias consideraciones relacionadas con la eficiencia de éste método y sus repercusiones en el ahorro de energía.

- a) Está basado en la experiencia práctica aprendida de "prácticas" en la materia
- b) No tiene su fundamentación principal en la teoría de motores
- c) Permite mantener en operación continua al equipo
- d) Puede afectar en mayor o menor grado según el nivel de utilización de energía en relación a la especificación del motor; por la aplicación de *trucos* que resuelven de momento el problema, esto puede afectar en el consumo de energía y la vida útil del motor.

### IV.9.4 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Este tipo de mantenimiento se basa en el monitoreo de nuestros equipos, para que en base a muestreos, se revise la tendencia del comportamiento de los parámetros de los motores y otros equipos y se predican las fallas para realizar las correcciones necesarias para evitar fallos.

Se puede decir, que el mantenimiento predictivo es una versión más sofisticada del mantenimiento preventivo.

En el caso de motores, se recomienda monitorear lo siguiente:

- Vibraciones de baleros
- Corriente demandada por el motor
- Voltaje de alimentación
- Calentamiento en los devanados
- Velocidad del motor en base a la carga

Existen en el mercado varios modelos de software para facilitar la realización de un mantenimiento adecuado, cuyo costo no es muy elevado y se tiene la asesoría necesaria para la instalación e implementación de dicho mantenimiento.

#### IV.9.5 INSTALACIÓN DE MOTORES

Para iniciar un correcto mantenimiento en un motor, al momento de instalarlo, hacerlo más adecuada, por lo tanto haremos un breve descriptivo de algunos puntos a observar para la instalación de un motor ya sea común o de alta eficiencia.

##### A) Recepción del equipo

- ❖ Revisar que venga en buen estado y no tenga partes dañadas
- ❖ Revisar que la flecha se mueva libremente
- ❖ Revisar que los valores de placa coincidan con los solicitados y con los de alimentación

##### B) Preparación previa a la instalación

- ❖ Quitar la grasa protectora de la flecha.
- ❖ Revisar que las conexiones correspondan al voltaje a utilizar y de no ser así cambiarlas.
- ❖ Revisión de la base preparada para el motor, para verificar que coincidan los pernos de anclaje con la base del motor.

##### C) Consideraciones de montaje

- ❖ Preparación de una base de concreto con armazón de varilla para dejar "ahogados" los pernos de anclaje.
- ❖ Se recomienda de manera práctica que la base de concreto tenga el mismo peso de la carga que soportará.
- ❖ Dependiendo del lugar del montaje, esta base puede ser también de acero.
- ❖ Preparación de adecuados accesorios de soporte y fijación de motor, como son tuercas, laines, arandelas de presión, tacones de hule o neopreno antivibración, etc.
- ❖ Al preparar la base de concreto, debe tenerse cuidado de las dimensiones de la base del motor, para que al montarse no se den problemas de desalineación.

##### D) Conexión Eléctrica

- ❖ Se debe preparar la tubería para conectar a la caja de conexiones del motor y debe revisarse que los calibres del cable sean adecuados, para la corriente del motor y la caída del voltaje.
- ❖ De preferencia, debe colocarse una parte de dicha tubería de tipo flexible para que no se transmitan vibraciones del motor a través de la misma que puedan afectar posteriormente la fijación de dicha tubería.
- ❖ Las conexiones se deben realizar adecuadamente en la caja de conexiones.
- ❖ Debe prepararse el arrancador correcto y revisar que los ajustes para la protección térmica del motor estén de acuerdo con las características de placa del mismo.
- ❖ Deben identificarse correctamente las fases del alimentador para asegurarse del sentido de giro del motor.

- ❖ Deberá proveerse conexión a tierra apropiada para el motor.
- ❖ En la conexión de los cables alimentadores al motor, se deberán utilizar zapatas tipo compresión del tamaño adecuado al calibre del cable, para evitar puntos calientes y falsos contacto. Además, preferentemente se deben usar capuchones aislantes termocontráctiles en vez de cinta aislante, para ocupar menos espacio en la caja de conexiones, mejorando la disipación del calor.
- ❖ Una vez montado y conectado el motor, debe revisarse que los valores de voltaje y corriente del motor sean lo más cercano posibles a los valores de placa.
- ❖ En caso de que existan diferencias en los valores anteriores, deberá detectarse la razón, antes de energizar de manera definitiva el motor.
- ❖ Antes de poner en marcha el motor, debe realizarse la medición de la resistencia de aislamiento al devanado del estator.

E) Montaje mecánico

- ❖ La ubicación del motor debe de ser en un área ventilada y de no ser así, proporcionar aire por algún método.
- ❖ Una vez acoplada la carga debe verificarse que puede girar libremente la flecha, energizando al motor pequeños instantes de tiempo y verificar que no se escuchen ruidos extraños y que la flecha y su carga giren libremente.
- ❖ Deberá alinearse la flecha con la carga por algún método, por sencillo que este sea, esto para evitar en lo posible daños al motor, rotor, baleros, etc.
- ❖ Deberá revisarse la correcta lubricación de baleros.
- ❖ La alineación de la flecha y la carga debe hacerse antes de operar el motor y después de operar con su carga acoplada (en "frío" y "caliente"), para verificar que sea la adecuada.
- ❖ Deberá revisarse si existen ruidos extraños durante la operación del motor, ya sea en los baleros o en el motor mismo.
- ❖ Deberá checkarse que la vibración del motor no sea excesiva, ya sea con un analizador de vibraciones ó con un vibrómetro, para verificar que estén dentro de los valores permitidos por el fabricante.

Las recomendaciones anteriores no son la totalidad de los requisitos previos, para la instalación y puesta en marcha, sin embargo, son los punto mínimos a revisar antes de colocar, fijar y conectar un motor ya sea nuevo o reparado.

F) Además de las recomendaciones para la instalación, haremos una recomendación para la alineación de motores.

La incorrecta alineación de motores, provoca incrementos en el consumo de corriente y por lo tanto mayores pérdidas.

A manera de complemento, se describe un método sencillo para la alineación de motores el cual es conocido como método de carátula inversa, el cuál arroja valores de precisión en la alineación bastante buenos.

1. Se marcan ambos coples a unir, para fijar el punto de partida.
2. Se realizan lecturas radiales (con instrumentos), ya sea con un calibrador de laines y una regla, girando los coples en la misma dirección del giro de la maquinaria, para realizar las mediciones cada 90° grados en el borde de los coples.

Cuando se utiliza un micrómetro de carátula apoyado en un cople y el botón detector apoyado en el otro cople, al acercarse el botón indicador la lectura de la carátula es positiva ya al alejarse es negativa. De aquí se deriva el nombre de carátula inversa.

3. Se deben realizar como mínimo cuatro lecturas para cada uno de los puntos marcados en los coples, es decir, 0°, 90°, 180° y 270°. Con estas lecturas se determina el desalineamiento radial, sumando los puntos opuestos.

Si el micrómetro se coloca en el cople del motor y el botón indicador en el cople de la carga, las lecturas serán positivas.

Cuando el micrómetro se coloca en el cople de la carga y el botón indicador en el cople del motor, las lecturas serán negativas.

4. Los valores de desalineamiento obtenidos de esta manera son horizontales y verticales, que de acuerdo con los fabricantes de motores, deben estar dentro de los valores permitidos por ellos.

Una manera práctica de obtener información de los motores, se puede llevar a cabo mediante una estructura que a continuación se muestra, por medio de la tabla del ANEXO 5. En esta se proporciona información general, datos que se obtienen de la placa o del catálogo del fabricante, el registro de mediciones y parámetros derivados que se calculan a partir de la información anterior, con las fórmulas que se han tratado en este capítulo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# CAPITULO V

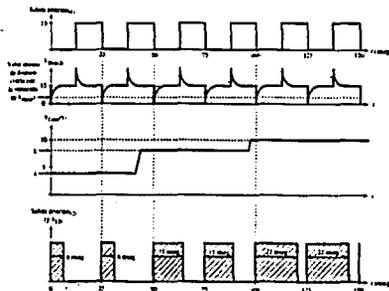


FIGURA 14-23 Formas de onda de salida de corriente de motor variables en modulación por ancho de pulso, mostradas en la Figura 14-21.

## OPORTUNIDADES DE AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES DE INDUCCIÓN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

## CAPÍTULO V

# OPORTUNIDADES DE AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES DE INDUCCIÓN

### V.1 INTRODUCCIÓN

Como se expuso en el capítulo anterior, la operación eficiente y la correcta selección del motor de inducción, va a reflejarse en un ahorro de energía, y por lo tanto en un ahorro económico. Pero en este capítulo vamos a estudiar dos tecnologías alternas a lo que se vio con anterioridad, las cuales presentan un gran Potencial de ahorro en la industria y, por supuesto, a nivel nacional.

En México se calcula que se utilizan más de 350 millones de motores eléctricos y de estos un alto porcentaje corresponde a los motores de inducción, en especial, al tipo jaula de ardilla, de los cuales se comercializan anualmente cerca de 200 mil unidades, en capacidades que van de 1 a 200 HP. Precisamente en los accionamientos con este modelo de motores de inducción, se encuentran importantes oportunidades de ahorro de energía debido al avance en el diseño y construcción de motores de alta eficiencia.

La eficiencia energética es uno de los principales parámetros en el diseño de los motores industriales de propósito general; sin embargo, se evita que sea a costa de la confiabilidad o del desempeño global del motor. Existen grupos de usuarios de estos equipos que consideran que, en la búsqueda de una mayor eficiencia, se disminuye el promedio de vida útil y se afectan las características de operación del motor. Sin embargo, en el presente capítulo se busca probar que esto es un error.

Por otro lado, también se hablará de los variadores de velocidad y sus ventajas de aplicación.

La ventaja principal de los variadores de velocidad es que disminuyen los consumos de energía eléctrica en algunos procesos que controla, dando como resultado considerables disminuciones en los costos de operación. La alta confiabilidad en los variadores de velocidad han permitido que cada día se instalen más de estos equipos en México y en el mundo entero.

Las aplicaciones del variador de velocidad son tan extensas como el número de motores de inducción instalados o por instalar que requieran una velocidad diferente a la que suministra el mismo.

La instalación de los variadores de velocidad nace de dos motivos principales; el mejoramiento en el proceso y el ahorro de energía eléctrica; la instalación de los variadores puede traer consigo los dos fines o uno sólo,

### V.2 ESTIMACIONES DE AHORRO EN MOTORES DE INDUCCIÓN

A continuación se detallan tres principales potenciales de ahorro de energía en motores de inducción.

#### V.2.1 POTENCIAL TÉCNICO

El Potencial Técnico, es el potencial de ahorro que se podría obtener al sustituir todos los equipos instalados en la industria, por otros de mayor eficiencia.

Según estimaciones recientes, la distribución del consumo de energía eléctrica por uso final, es de 65% en motores, 25% en iluminación, 10% en otros. En este contexto se calcula que los motores participan, en

promedio, con un 70% en el consumo de energía del sector industrial, así como con un 40% en el sector comercial y de servicios. Se estima también que de estos motores, 70% son motores de inducción trifásicos, y 30% en el sector comercial y de servicios. Se estima que la distribución por tamaño de motor, es la siguiente:

**TABLA V.1 PARTICIPACIÓN DE LOS MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS**

| Capacidad del motor (HP) | Participación en el consumo de energía (%) | Participación en número (%) |
|--------------------------|--|-----------------------------|
| 1-5                      | 2.2  | 62                          |
| 7.5-20                   | 8.9  | 23                          |
| 25-50                    | 18.4                                       | 10                          |
| 60-125                   | 24.5                                       | 3                           |
| 150-200                  | 46   | 2                           |

De los motores instalados, se estima que existen 1,000,000, que mueven a sistemas de bombeo y de ventilación, representando un consumo de 5,958.2 GW. En estos equipos es donde por la instalación de variadores de velocidad, es posible obtener ahorros de energía con alta rentabilidad.

**TABLA V.2 POTENCIAL TÉCNICO DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

|                             | Motores Eléctricos de Alta Eficiencia | Variadores de Velocidad |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| # DE EQUIPOS                | 7,690                                 | 1,000                   |
| AHORRO EN DEMANDA (MW)      | 1,200                                 | 220.3                   |
| AHORRO EN ENERGÍA (GWh/AÑO) | 5,561.4                               | 1,220.3                 |

## V.2.2 POTENCIAL ECONÓMICO

Es la parte del potencial técnico, en donde es rentable para el usuario la instalación de equipos de alta eficiencia.

### - Motores de Alta eficiencia

Las ventas anuales de motores eléctricos del tipo inducción trifásicos, se estima que son de 200,000 unidades al año. Todos estos equipos son susceptibles de adquisición en el tipo de alta eficiencia, ya que en promedio el sobrecosto del 20%, se paga con los ahorros obtenidos en 1.2 años en promedio. Así mismo, existe la posibilidad de sustituir el 18% de los motores ya instalados.

### - Variadores de velocidad

Respecto a estos equipos, se considera que su instalación es técnicamente factible y económicamente rentable en 320,000 sistemas de bombeo y de ventilación, con un ahorro estimado del 20%.

**TABLA V.3 POTENCIAL ECONÓMICO DE AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

|                             | MOTORES ELÉCTRICOS DE ALTA EFICIENCIA |            | VARIADORES DE VELOCIDAD |
|-----------------------------|---------------------------------------|------------|-------------------------|
|                             | Por Sustitución                       | Por ventas |                         |
| # De Equipos (miles)        | 1350                                  | 200        | 320                     |
| Ahorro en demanda (MW)      | 672.3                                 | 105.2      | 168.3                   |
| Ahorro de energía (GWh/año) | 3210.8                                | 502.4      | 803.8                   |

### V.2.3 POTENCIAL DE MERCADO

Es la porción del potencial de ahorro económico que puede ser razonablemente alcanzado por las fuerzas normales del mercado a través de incentivos, de esquemas atractivos de financiamiento y mecanismos de entrega.

Los potenciales de ahorro de energía aquí señalados son con base en una comercialización de equipos hasta el año 2000, y por lo tanto, el ahorro de energía y demanda es el acumulado por le número de equipos que se vayan adquiriendo cada año según la comercialización de estos.

TABLA V.4 POTENCIAL DE MERCADO DE AHORRO DE ENERGÍA

|                                      | MOTORES ELÉCTRICOS DE ALTA EFICIENCIA | VARIADORES DE VELOCIDAD |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| # De Equipos vendidos al año (miles) | 48                                    | 10                      |
| Total de Equipos (miles)             | 240                                   | 50                      |
| Ahorro en demanda (MW)               | 147.17                                | 61.3                    |
| Ahorro de energía (GWh/año)          | 1,610                                 | 671.2                   |

De esta forma observamos los potenciales de ahorro en los motores de inducción, mediante dos principales alternativas. El Motor Eficiente y el Variador de Velocidad, los cuales son tratados ampliamente a continuación en este capítulo.

## V.3 MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

### V.3.1 INTRODUCCION

El accionamiento de máquinas y equipamientos mecánicos para motores eléctricos es un tema de gran importancia económica, particularmente en la industria. Se estima que un 70 a 80% de la energía consumida por el conjunto de todas las industrias se transforma en energía mecánica por medio de motores eléctricos. Esto significa que considerando un rendimiento del orden de 80% del universo de los motores en aplicaciones industriales, cerca del 15% de la energía eléctrica industrial se convierte en pérdidas en los motores eléctricos.

Durante los últimos años, se han estudiado los aspectos de calidad y confiabilidad, así como las ventajas operativas de los motores de alta eficiencia y se ha notado el interés por éstos aspectos. Se ha detectado que un gran número de usuarios se ha dado cuenta que, adicionalmente a los obvios ahorros de energía, el motor eficiente ofrece una mayor confiabilidad y una vida útil más larga en la mayoría de las aplicaciones industriales.

Entre las diferentes formas de uso racional de la energía eléctrica, existe la posibilidad de sustitución de motores eléctricos con eficiencia estándar o baja por motores de alta eficiencia.

### V.3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR EFICIENTE

Un ahorro importante de energía eléctrica en accionamientos con motores se puede obtener mediante la reducción de las pérdidas. Los factores que hay que tomar en cuenta para que un motor eléctrico sea de alta eficiencia son: El Diseño y la Fabricación.

Para lograrlo, algunos fabricantes de motores eléctricos se han dedicado a mejorar los aspectos anteriores, realizando diversas acciones entre las que se puede mencionar:

-Utilización de acero con mejores propiedades magnéticas, para reducir aún más las pérdidas de histéresis y corrientes parásitas, empleando un acero con un alto grado de silicio y también con acero de grano orientado.

-Armazón de fierro fundido, resistente a la corrosión y fabricado con precisión, para ensamblar adecuadamente con el estator, lo que proporciona excelente disipación de calor.

-Reducción del entrehierro. Reduce las pérdidas magnéticas.

-Reducción del espesor de la laminación, para reducir aún más las pérdidas por histéresis y corrientes parásitas, empleando un espesor de 0.457 mm en lugar del típico de 0.599.

Laminaciones de acero de alta calidad reducen las pérdidas por corrientes de eddy debido a que opera con densidad de flujo menor. Laminaciones del núcleo más grandes, lo que reduce la densidad de flujo e incrementa la capacidad de enfriamiento y reduce tanto las pérdidas magnéticas como las de corriente.

-Cobre adicional y conductores más grandes incrementan la sección transversal de los devanados del estator, reduciendo la resistencia y por lo tanto las pérdidas  $I^2R$ , para compensar el aumento 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 alguno beneficios adicionales.

-Utilización de ventiladores y sistemas de enfriamiento más eficientes. El ventilador de diseño más avanzado, reduciéndole peso con materiales más ligeros y optimizando su diseño, lo que ocasiona una mejora en el flujo de aire y reduce las pérdidas por fricción.

-Mejorar el sistema de aislamiento del motor, para alta eficiencia para temperaturas de hasta 200 °C, sujetos en cada extremo y en cada ranura, se tratan laminaciones con un aislamiento inorgánico a base de fosfato de zinc de alta temperatura antes de fundir el rotor, esto incrementan la estabilidad y minimizan el movimiento.

-Los rodamientos de la flecha del rotor deben ser de mejor calidad, baleros antifricción, la operación más fría del motor provoca una operación más silenciosa y mayor duración de los baleros.

-Mejorar el diseño de las ranuras, 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.

-Aluminio de mejor calidad en el rotor, con lo que se mejora el par y las pérdidas por  $I^2R$ .

-También se reduce la distancia del entrehierro, con lo que el flujo de dispersión se reduce y con ello las pérdidas de flujo magnético.

-En la carcaza, también se mejoran las aletas de enfriamiento, con lo que se hace más eficiente la operación del motor.

-La caja de conexiones también es ligeramente mayor, para mejorar las conexiones y evitar puntos calientes.

Cabe mencionar, que al incrementar el tamaño del hierro, el motor de alta eficiencia es ligeramente más grande hacia atrás, pero en la base las dimensiones son las mismas que un motor común.

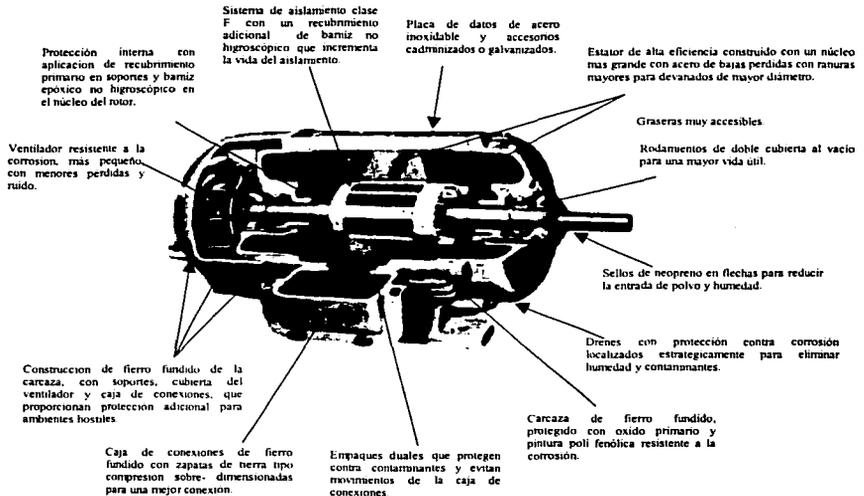


FIGURA V.1 Motor de Inducción de Alta Eficiencia

La manufactura y el uso de mejores materiales se traduce en un costo mayor. Los motores de alta eficiencia tienen un precio entre 15 y 30% más que sus similares comunes, pero como se verá más adelante, este sobreprecio puede ser recuperado en un periodo razonable con los ahorros que se obtienen al reducir su consumo de energía eléctrica.

### V.3.3 COMPORTAMIENTO DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

El objetivo de esta sección es presentar las diferencias en los niveles de calidad, confiabilidad y parámetros de operación del motor eléctrico tipo jaula de ardilla de alta eficiencia con los de los motores de manufactura estándar.

El motor seleccionado para llevar a cabo la comparación es el utilizado en la mayoría de las aplicaciones industriales y tiene las siguientes características:

- Totalmente cerrado, enfriado por ventilador (TEFC (Total Enclosed Fan Cooled), por sus siglas en inglés) construcción de hierro vaciado.
- Instalación horizontal, factor de servicio de 1.15.
- 3,600 y 1,800 rpm de velocidad sincrónica (2 y 4 polos respectivamente).
- Rodamientos de esferas.
- De 3 a 200 HP.

Debido a que ningún fabricante de motores utiliza exactamente los mismos criterios en todos sus diseños, las prácticas y características descritas en este capítulo, no son universales.

### V.3.3.1 PARÁMETROS BÁSICOS DE DISEÑO

Para llevar a cabo el análisis comparativo, se consideraron los siguientes parámetros de operación:

- Eficiencia
- Factor de potencia
- Capacidad térmica de los devanados
- Características Par-Velocidad.
- Corriente de arranque y nominal
- Vida de los rodamientos
- Estructura mecánica y carcasa

En el ANEXO 6 presentamos unas tablas comparativas de eficiencias entre motores comunes y de alta eficiencia, cerrados y abiertos a diferentes cargas y de distintas velocidades y potencias, además del precio de cada motor en el año 2002.

Además de estos parámetros, se consideraron otros de menor importancia como son niveles de ruido y vibración, propiedades electromagnéticas y factor de servicio. Varios de estos parámetros son interdependientes y dependen de la velocidad del motor, tamaño y carcasa, lo que hace difícil establecer "reglas generales". Sin embargo, para una comparación más representativa, los motores comparados son de la misma capacidad, para la misma aplicación y similares condiciones de operación y mantenimiento.

Existe relación directa entre la vida del motor y los diferentes esfuerzos a los que se somete. Mientras éstos esfuerzos sean adecuadamente manejados y restringidos, dentro de los límites de diseño y operación establecidos, se obtendrán del motor las características esperadas de operación y vida útil. La siguiente es una lista de los principales esfuerzos que deben considerarse para comparar los motores de alta eficiencia con motores convencionales.

- Térmicos
- Electromagnéticos
- Dinámicos
- Mecánicos
- Ambientales

Entre las suposiciones para la aplicación del método, destaca la que se refiere a la operación del motor. Se supone que no operan fuera de sus características de diseño originales o de los límites normalizados y en aplicaciones similares.

### V.3.3.2 DIFERENCIAS EN EL DISEÑO

Las siguientes tablas proporcionan una comparación de los criterios de diseño clave para los motores considerados en esta parte. Los valores, limitados por código, normas o leyes, pueden variar ligeramente entre fabricantes. Para la mayoría, las diferencias entre los diseños eléctricos puede resumirse y generalizarse como se muestra en la tabla V.5.

TABLA V.5 COMPARATIVO DE DISEÑO ENTRE MOTORES EFICIENTE Y ESTÁNDAR

| COMPONENTE                                 | MOTOR                          |                    |
|--|--------------------------------|--------------------|
|  | COMÚN                          | ALTA EFICIENCIA    |
| Acero eléctrico                            | 2.5 a 3.0 W/lb                 | 1.5 a 2.5 W/lb     |
| Espesor de laminación                      | 0.0185 a 0.035 in.             | 0.0185 a 0.025 in. |
| Combinación de ranuras del estator y rotor | Igual                          |                    |
| Ranura de estator                          | Pequeña                        | Grande             |
| Ranura de rotor                            | Jaula sencilla o doble         |                    |
| Inclinación de las barras                  | De 0 a 1 ranura                |                    |
| Entrehierro                                | Normal                         | Igual o poco mayor |
| Construcción del rotor                     | Laminado y con barras fundidas |                    |
| Devanado                                   | Con máquina o manual           |                    |

Para la mayoría de los casos, las estructuras mecánicas están hechas, esencialmente, de la misma familia de partes, como se muestra en la tabla V.6

TABLA V.6 COMPARATIVO DE PARTES MECÁNICAS

| COMPONENTE              | MOTOR                   |                 |
|-------------------------|-------------------------|-----------------|
|                         | COMÚN                   | ALTA EFICIENCIA |
| Carcasa                 | Igual                   |                 |
| Soportes                | Iguales                 |                 |
| Cubierta del ventilador | Igual                   |                 |
| Ventiladores            | Pueden ser diferentes   |                 |
| Sellos de flecha        | opcionales              | IP54 ó IP55     |
| Caja de conexiones      | Igual                   |                 |
| Rodamientos             | Generalmente los mismos |                 |
| Lubricante              | Generalmente los mismos |                 |
| Flecha                  | Igual                   |                 |
| Tapas de rodamientos    | Opcionales              | Obligatorias    |

A medida que se logran niveles más altos de eficiencia en los motores, la tendencia será la de optimizar las capacidades de transferencia de calor de las partes mecánicas. Por lo tanto, la carcasa y los soportes tendrán una mayor área superficial, con un mayor flujo interno de aire y diseños optimizados de los ventiladores.

No es probable que la estructura mecánica del motor se debilite, ni que se incremente el esfuerzo sobre los rodamientos durante este proceso de incremento de la eficiencia.

### V.3.3.3 RELACION ENTRE EFICIENCIA Y FACTOR DE POTENCIA

La relación entre el nivel de factor de potencia es una cuestión común en los motores eléctricos de alta eficiencia. La regla general en el diseño de un motor de alta eficiencia, para una cantidad dada de material activo (acero eléctrico, cobre y aluminio), es maximizar la eficiencia.

Las figuras V.2 y V.3 muestran que, en los motores eficientes, la prioridad es la eficiencia y pasa a segundo término el factor de potencia. La corrección de este, en caso de requerirse, se realiza desde el sistema eléctrico. El resultado ha sido disponer de motores con pérdidas menores de hasta un 45% que las de los motores estándar. Por ejemplo, la reducción del 30% en las pérdidas de un motor de 10 HP con 83% de eficiencia, incrementa su valor a un 88.5%. Por otro lado los motores de alta eficiencia, a diferencia de los estándar, mantienen su alto nivel de eficiencia en un amplio rango de carga. Esto se puede observar en la figura V.2, en donde se muestra la variación de la eficiencia con la carga, para motores similares.

COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA EN MOTORES DE 10 HP

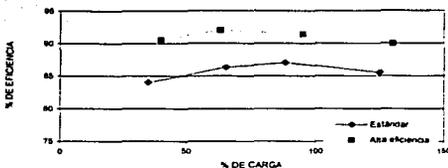


FIGURA V.2 Comparación de Eficiencias

COMPARACIÓN DE FACTORES DE POTENCIA

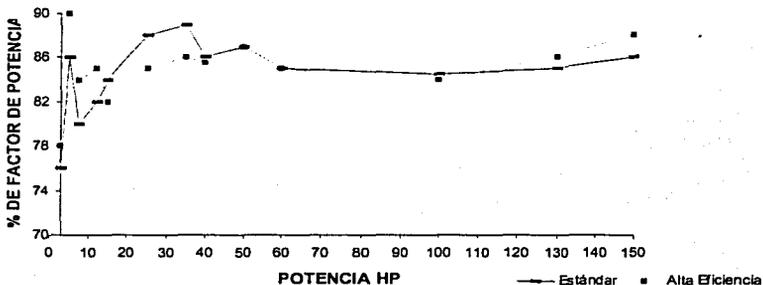


FIGURA V.4 Gráfica comparativa de factores de potencia

V.3.3.4 CAPACIDAD TÉRMICA DEL AISLAMIENTO DE DEVANADO

Las normas IEEE 117 y 101, proporcionan gráficas de comparación de la vida útil esperada del sistema aislante de los devanados del motor, al someterse al envejecimiento térmico. Estos valores se derivan del hecho de que la vida del sistema aislante de los devanados del motor se duplica por cada 10 °C de reducción en la temperatura de operación promedio. La figura V.5 muestra que en el intervalo de 3 a 50 HP, en los motores de alta eficiencia de 4 polos se presenta una reducción significativa del promedio de las temperaturas de los devanados; resultados similares indican que para los motores de alta eficiencia de 2 polos, esta reducción, se encuentra en el intervalo de los 30 a los 125 HP. Esta reducción en la elevación de temperatura de los motores de alta eficiencia, para cualquier clase de aislamiento utilizado, tiene como consecuencia una vida útil más larga del sistema aislante y, por lo tanto, del motor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DE LOS DEVANADOS

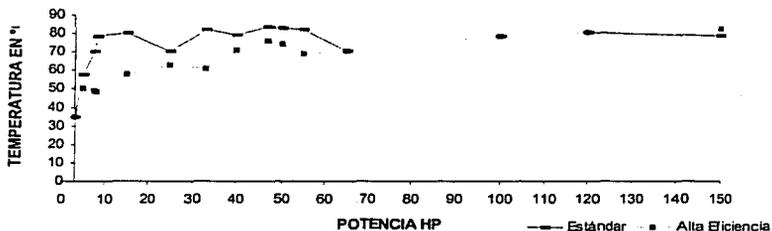


FIGURA V.5 Gráfica comparativa de la temperatura de los devanados

V.3.3.5 CORRIENTE DE ARRANQUE

Como se aprecia en la figura V.6, las corrientes a rotor bloqueado de los motores de alta eficiencia, tal como lo define la NEMA, no muestra un aumento significativo respecto a las de los motores comunes. Ninguna de las comparaciones de diseño indican alguna reducción de la vida del motor. Desafortunadamente, no se cuenta con los datos de diseño para confirmar o negar tendencias de éste parámetro, durante los pasados 20 años, para la gran población existente de motores. Varios fabricantes de motores han usado mayores de motores han usado mayores corrientes de arranque durante muchos años, a medida que han tendido hacia la reducción de pérdidas y mayores eficiencias.

COMPARACIÓN DE CORRIENTES DE BLOQUEO

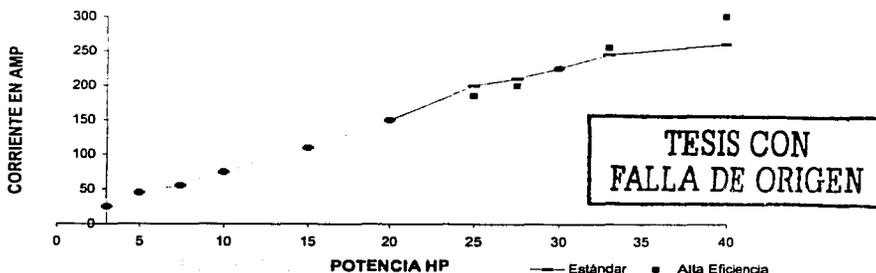


FIGURA V.6 Gráfica comparativa de corrientes de arranque

## COMPARACIÓN DE PAR DE ARRANQUE

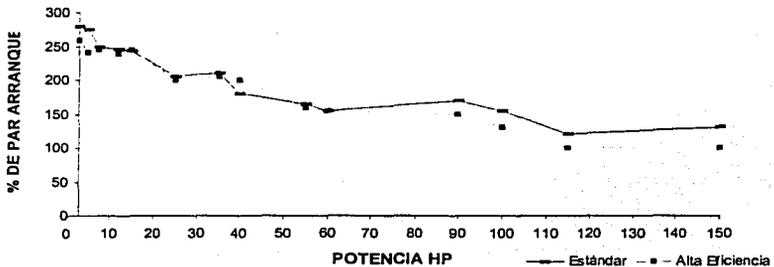


FIGURA V.7 Gráfica comparativa del par de arranque

## V.3.3.6 CARACTERÍSTICAS DE PAR Y VELOCIDAD

Es difícil generar reglas para la interrelación de estas dos variables, dado que existen varias formas de lograr los mismos resultados. La figura V.7, muestra que el par de los motores estándar y de alta eficiencia, no difieren significativamente. Sin embargo, se puede afirmar que las características de par-velocidad no reducen significativamente la vida de los motores eléctricos de alta eficiencia.

La velocidad a plena carga, como se indica en la figura V.8, muestra que los motores de alta eficiencia de 4 polos en capacidades de 1 a 30 HP presentan mayores velocidades, o sea, un menor deslizamiento. Estos niveles de deslizamiento y la resultante reducción de las pérdidas del rotor y de la temperatura, normalmente dan por resultado una vida útil más larga a estos motores.

## COMPARACIÓN DE VELOCIDADES A PLENA CARGA

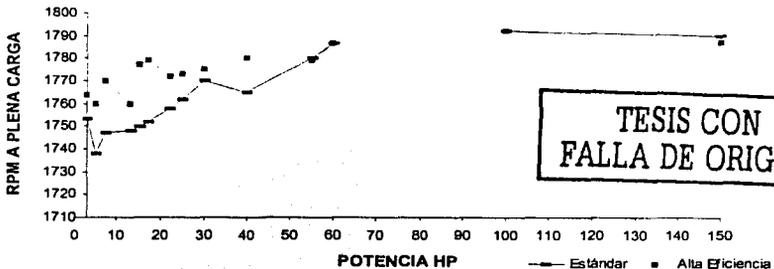


FIGURA V.8 Gráfica comparativa de velocidades a plena carga

### V.3.3.7 TIEMPO SEGURO DE BLOQUEO DEL ROTOR

La siguiente tabla muestra un comparativo de la elevación de temperatura del rotor, bajo condiciones de bloqueo. En la mayor parte de los casos, los motores eficientes tienen mayor capacidad cuando se exponen a esta condición. Un gran número de diseños revisados de motores de dos polos tiene un tiempo seguro de bloqueo reducido y no existe gran diferencia entre los motores de diseños normales y de alta eficiencia. Los motores de 3600 rpm no se muestran en la tabla V.7; sin embargo, es razonable esperar resultados similares para las temperaturas de sus devanados.

TABLA V.7 COMPARACIÓN DE ELEVACIÓN DE TEMPERATURA (°C) EN EL ROTOR DE MOTORES DE 1,800 RPM

| POTENCIA                       | COMÚN | ALTA EFICIENCIA | % DE CAMBIO DE TEMPERATURA |
|--------------------------------|-------|-----------------|----------------------------|
| 7.5 HP                         |       |                 |                            |
| Punto más caliente del estator | 160°  | 126°            | 127                        |
| Punto más caliente del rotor   | 217°  | 152°            | 143                        |
| 25 HP                          |       |                 |                            |
| Punto más caliente del estator | 195°  | 74°             | 260                        |
| Punto más caliente del rotor   | 207°  | 160°            | 130                        |
| 30 HP                          |       |                 |                            |
| Punto más caliente del estator | 171°  | 75°             | 230                        |
| Punto más caliente del rotor   | 212°  | 170°            | 125                        |

### V.3.3.8 RODAMIENTOS

La mayoría de las veces no se reduce la capacidad de carga del sistema de cojinetes para los motores eficientes, cualquiera que sea su velocidad, de hecho, usualmente tienen el mismo sistema. La principal diferencia es que en los diseños eficientes tienden a operar ligeramente más fríos, pueden tener una reducción en el empuje lateral debido a densidades de flujo menores, y están mejor sellados debido al requerimiento IP55, el hecho de que algunos operen de 10 a 15 rpm más rápido, tiene un efecto mínimo en la vida proyectada del rodamiento. Puesto que la vida de la lubricación es una clave determinante para la vida del cojinete, para un determinado número de rpm, las temperaturas reducidas compensan otros factores asociados con el diseño.

Los fabricantes de motores enfocan el diseño del sistema de rodamientos de diversas maneras, pero permiten la misma capacidad de carga y expectativas de vida. Algunas de las principales variables de diseño del sistema de cojinetes incluyen:

- Tamaño y tipo del cojinete
- Métodos de sellado
- Lubricantes y secuencia de lubricación
- Ajustes y claros
- Uso de tapas de cojinetes, sujeción y precarga
- Temperaturas de operación

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

La selección de los rodamientos no representa una diferencia significativa entre los motores eficientes y los comunes.

Los resultados del análisis de las diferencias en los niveles de calidad, confiabilidad y parámetros de operación del motor eléctrico trifásico de inducción tipo jaula de ardilla de alta eficiencia, con respecto a los motores de manufactura común, indican que la optimización de los principales parámetros en los motores de alta eficiencia, tales como la reducción en la elevación de temperatura, tienen como consecuencia una vida más larga del motor. Por otra parte, los factores que se ven afectados debido a estos diseños óptimos, tales como el incremento en la velocidad o el deslizamiento, tienen un efecto mínimo en

el comportamiento global del motor eficiente. Por lo que los mitos sobre los motores de alta eficiencia como: "los motores eficientes tienen una vida más corta porque se diseñan con menos margen" y "los motores eficientes usan más energía en las aplicaciones de par variable, debido a la reducción del deslizamiento y el correspondiente incremento en la velocidad", no tienen fundamento.

### V.3.4 ESTIMACIÓN DE LOS AHORROS CON MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

La selección apropiada de un motor eléctrico debe considerar sus condiciones de desempeño, incluyendo las restricciones del medio ambiente, así como su costo de adquisición y de operación. Características de alimentación eléctrica, requerimientos del par, ciclo de trabajo de la carga, tipo de armazón, etc., son algunos de los factores que deben ser tomados en cuenta. El siguiente paso es evaluar el nivel de eficacia deseado para la aplicación de que se trate. En estas circunstancias, la elección de un motor de alta eficiencia puede convertirse en la mejor alternativa. Sin embargo, debido a su mayor costo inicial, comparado con un motor estándar de características similares, es importante hacer un análisis de los beneficios para asegurarse que la decisión sea viable.

#### V.3.4.1 METODO DE EVALUACIÓN

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, cuantificando la disminución de la eficiencia a 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 anteriormente mencionado, es indispensable hacer las siguientes mediciones en los motores para determinar la eficiencia actual a la que está operando.

- Tensión entre fases
- Tensión trifásico
- Potencia demandada actual
- Corriente por fase

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

$$\% \text{ DESB. DE TENSION} = \frac{\text{Máx. dif. Respecto a la Tensión Promedio}}{\text{Tensión Promedio}} * 100 \dots (1)$$

donde:

$$\text{Máx. dif. Respecto a la Tensión Promedio} = \text{Tensión Máxima} - \text{Tensión Promedio} \dots (2)$$

ó

$$\text{Máx. dif. Respecto a la Tensión Promedio} = \text{Tensión Promedio} - \text{Tensión Mínima} \dots (2')$$

lo que resulte mayor.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Y la diferencia de tensión sobre el nominal es:

$$\text{DIFERENCIA DE TENSION} = \left( \frac{\text{Tensión medida}}{\text{Tensión de placa}} - 1 \right) * 100 \dots (3)$$

Conociendo estos porcentajes, recurrimos a las gráficas del capítulo anterior y determinamos el factor de ajuste por desbalanceo y tensión distinta a la nominal.

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

$$\text{Factor de Carga} = \frac{\text{Potencia Medida}}{\text{Potencia de Placa} \times \text{Eficiencia a Plena Carga}} * 100 \dots (4)$$

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.

Se sabe que la potencia nominal entregada se ve afectada en relación a la demandada únicamente por la eficiencia.

La potencia nominal demandada será entonces:

$$\text{Potencia demandada} = \frac{\text{Potencia nominal entregada}}{\text{Eficiencia del motor}} \dots (5)$$

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.

$$L^{100\%} = 0.746\text{HP} * \left( \frac{1}{\text{efic. al } 100\%} - 1 \right) \dots (6)$$

$$L^{75\%} = 0.746\text{HP} * \left( \frac{1}{\text{efic. al } 75\%} - 1 \right) \dots (6')$$

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

$$L^{100\%} = (\text{F.C. al } 100\%)^2 * (a + b) \dots (7)$$

$$L^{75\%} = (\text{F.C. al } 75\%)^2 * (a + b) \dots (7')$$

Donde:

L = Pérdidas del motor

F.C. = factor de carga del motor

F.C. al 100% = 1

F.C. al 75% = 0.75

a = Pérdidas variables

b = Pérdidas Fijas

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por lo que sustituyendo valores a las ecuaciones (7) y (7') quedan:

$$\begin{aligned} L^{100\%} &= (a + b) \dots (7'') \\ L^{75\%} &= 0.5625(a + b) \dots (7''') \end{aligned}$$

y despejando las pérdidas variables:

$$a = \left[ \frac{L^{100\%} - L^{75\%}}{0.4375} \right] - b \dots (8)$$

Mientras que suponiendo las pérdidas fijas  $b$  como un valor constante conocido, muy pequeño en comparación con las pérdidas variables, se tiene:

$$a = \frac{L^{100\%} - L^{75\%}}{0.4375} \dots (9)$$

y si ahora definimos "c" como las pérdidas fijas por unidad de potencia (1 HP) a plena carga, y obteniendo ahora "b" de las ecuaciones (7'') y (9) tenemos:

$$c = \frac{b}{L^{100\%}} \dots (10)$$

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

$$L = L^{100\%} (c + FC^2 \times (1 - c)) \text{ kW} \dots (11)$$

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

$$\text{Eficiencia} = \frac{(\text{kW medidos} - L)}{\text{kW medidos}} \dots (12)$$

#### V.3.4.2 ELECCIÓN ENTRE UN MOTOR COMÚN Y UN MOTOR DE ALTA EFICIENCIA

Son requeridos cuatro conceptos para evaluar la factibilidad económica de elegir un motor de alta eficiencia en lugar de uno común.

- Tarifa eléctrica
- Factor de carga
- Horas de operación
- Costo de adquisición del motor

##### 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.

##### Costo de Adquisición

Como se ha mencionado, los motores de alta eficiencia tienen un costo mayor que los motores estándar de potencia similar, por lo tanto, la diferencia en el precio es un dato importante que debe ser considerado en el análisis. Sin embargo, la consulta entre varios distribuidores y fabricantes es una práctica obligada ya que con frecuencia se ofrecen descuentos sobre los precios de lista, que pueden variar incluso entre

distribuidores de una misma marca. Es conveniente asegurarse del costo efectivo de adquisición de los motores para tener una mayor certidumbre en las estimaciones.

La potencia ahorrada que se obtiene por utilizar un motor de alta eficiencia, en lugar de uno común o de eficiencia menor, se puede establecer a partir de la siguiente fórmula:

$$P_a = 0.746 * HP * L * ((100/Est_d) - (100/Eae)) \dots (13)$$

Donde:

- Pa = Ahorro en Potencia
- HP = Caballos de Fuerza
- L = Factor de Carga
- Est\_d = Eficiencia del motor estándar (%)
- Eae = Eficiencia del motor de alta eficiencia (%)

Tomando en cuenta los kW ahorrados se puede calcular el ahorro monetario para un determinado periodo. Por ejemplo, para un año:

**Ahorro económico por Potencia demandada en un año**

$$P_A = P_a (n * C_p) \dots (14)$$

**Ahorro económico por Energía consumida en un año**

$$E_C = P_a (N * C_e) \dots (15)$$

**Ahorro económico total**

$$A_T = P_A + E_C \dots (16)$$

Donde:

- A<sub>T</sub> = Ahorro anual \$/año
- N = Horas de operación / año
- n = Número de periodos de facturación / año
- C<sub>e</sub> = Cargo por energía (\$ / KWh)
- C<sub>p</sub> = Cargo por demanda máxima (\$ / KWh)

Las expresiones anteriores se aplican en accionamientos donde los motores que trabajan con una carga sustancialmente constante. En los casos de ciclos de trabajo en los que la carga varíe, se pueden hacer estimaciones para cada uno de ellos y luego, sumar los ahorros para obtener el ahorro total.

El período de recuperación en años puede ser determinado como sigue:

$$\text{Inversión total} = \frac{\text{Costo del motor de alta eficiencia}}{\text{Ahorro anual}} \dots (17)$$

$$\text{De la parcialidad} = \frac{\text{Premio en costo}}{\text{Ahorro anual}} \dots (18)$$

De donde, el premio en costo es la diferencia en precio entre los motores comparados.

### V.3.5 CUANDO UTILIZAR MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Cada usuario tiene múltiples requerimientos que satisfacer para asegurar la operación correcta y económica de sus accionamientos con motores eléctricos de inducción. La eficiencia es sólo uno de ellos; no obstante, en las siguientes condiciones, el empleo de los motores de alta eficiencia debe ser considerado:

- En instalaciones nuevas.
- Cuando se realicen modificaciones mayores en procesos existentes.
- En lugar de reembobinar motores estándar que han fallado. Sobre todo cuando tienen más de 15 años de uso (especialmente los que ya han sido reembobinados) y operan más de 2000 horas al año.
- Para reemplazar motores estándar que operan normalmente sobrecargados o con baja carga.
- En la adquisición de equipos de accionamientos nuevos tales como aires acondicionados, compresoras y sistemas de bombeo.
- Cuando se desea reducir los costos de operación sustituyéndolos por motores viejos u obsoletos.

En México la utilización de motores de alta eficiencia ha sido limitada entre otros por la falta de información, su mayor costo inicial, y la indiferencia de usuarios en los que existe poco interés por ahorrar cuando la facturación eléctrica no es relevante. Para incentivar a estos últimos se requiere de una certificación y una normalización de los estándares mínimos de funcionamiento.

Al respecto cabe mencionar que se cuenta con una NOM, que garantiza los valores de eficiencia a los que se deben sujetar los fabricantes y distribuidores de estos equipos la Norma Oficial Mexicana (NOM-016-ENER-1997) establece los valores mínimos de eficiencia, el método de prueba para su evaluación y la especificación de marcado de la eficiencia nominal en la placa de datos de los motores eléctricos de corriente alterna trifásicos, de inducción, jaula de ardilla, de uso general, con potencia nominal de 0.746 kW (1 HP) hasta 149.2 kW (200 HP), abiertos y cerrados; que se comercializan en la República Mexicana.

En esta norma los motores se prueban por el método de segregación de pérdida. Este método para la determinación de la eficiencia tiene como particularidad la medición indirecta de las pérdidas indeterminadas y la medición directa de 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.

La eficiencia nominal marcada por el fabricante en la placa de datos del motor debe ser igual o mayor que la eficiencia de las tablas 6, 7, 8 y 9 de esta Norma que se presentan en el ANEXO 6, de acuerdo con su potencia nominal, número de polos, nivel de eficiencia y tipo de carcasa.

### V.3.6 CASOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

#### V.3.6.1 CASO A

##### DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES

Se necesita realizar la instalación de un taladro con motor de inducción de 10 HP de 1,800 rpm

##### OPERACIÓN

| PARÁMETRO       | VALOR |
|-----------------|-------|
| Horas al año    | 4,000 |
| Factor de carga | 0.75  |
| Tipo de Tarifa  | 03    |

#### 1.- ACCIÓN CONCRETA

Se necesita realizar un comparativo en el que se conozca cuál es la diferencia económica entre la implementación de un motor de alta eficiencia y un motor común.

##### DATOS DE LOS MOTORES

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| Eficiencia del M. estándar  | 83%     |
| Eficiencia del M. eficiente | 90%     |
| Costo del motor estándar    | 447 USD |
| Costo del motor eficiente   | 559 USD |

#### 2.- RESULTADOS ESPERADOS

Se espera un mayor costo de inversión en el caso del motor de alta eficiencia, sin embargo, los gastos de operación mucho menores comparándolos con los gastos de un motor común.

#### 3.- CALCULOS Y AHORROS

Aplicando las ecuaciones se tiene:

$$P_a = 0.746 * 10 * 0.75 ((100 / 83.9) - (100 / 90))$$

$$= 0.451 \text{ KW}$$

Tarifa 03

Costo por kWh de energía consumida (al mes de mayo de 2003) = \$ 0.894

Costo por kW demanda (al mes de mayo de 2003) = \$ 141.88

**Ahorro económico por Potencia demandada en un año**

$$\text{Ec. (14) : } P_A = P_a (n * C_p)$$

$$= 0.451 \text{ kW} (12 * 141.88 \text{ \$/kW}) = \$ 768$$

**Ahorro económico por Energía consumida en un año**

Ecuación ( 15 ) :  $E_c = P_1 (N \cdot C_e)$   
 = 0.451 kW (4000 horas \* 0.894 \$/kWh) = \$ 1,613

**Ahorro económico total**

Ecuación ( 16 ) :  $A_T = P_A + E_c$   
 = \$ 768 + \$ 1,613 = \$ 2,391

**4.-MONTO POR LA POSIBLE INVERSIÓN**

Considerando el tipo de cambio del USD a \$ 10.5, tenemos:

Costo del motor estándar \$10.5 \* 447 USD = \$4,696

Costo del motor eficiente \$10.5 \* 559 USD = \$5,869

**5.- PERIODO DE AMORTIZACIÓN**

Período de recuperación del diferencial de precios =  $\frac{\$5,869 - \$4,696}{\$2,391}$  = 0.49 años o 6 meses

Período de recuperación del total de la inversión =  $\frac{\$5,869}{\$2,391}$  = 2.45 años o 29.5 meses

**RESUMEN**

| CONDICIONES                                       | MOTOR DE ALTA EFICIENCIA | MOTOR COMÚN |
|---|--------------------------|-------------|
| TARIFA CONTRATADA                                 | 03                       | 03          |
| CAPACIDAD DEL MOTOR                               | 10 HP                    | 10 HP       |
| COSTO DEL MOTOR                                   | \$ 5,869                 | \$ 4,696    |
| DIFERENCIAL DE PRECIOS                            | 20 %                     |             |
| HORAS DE OPERACION DEL EQUIPO                     | 4,000 Hrs./año           |             |
| AHORRO DE LA DEMANDA                              | 4.12 kW/año              |             |
| AHORRO DE ENERGIA                                 | 12.060 kWh/año           |             |
| AHORRO TOTAL                                      | \$2,391                  |             |
| TIEMPO DE RECUPERACION DE INVERSION TOTAL         | 2.4 años                 |             |
| TIEMPO DE RECUPERACION DEL DIFERENCIAL DE PRECIOS | 6 meses                  |             |

Se puede observar que la inversión adicional del motor de alta eficiencia, sería recuperada en un período máximo de 7 meses. Después de este lapso inicial de recuperación, el motor eficiente comienza a generar ahorros por menor consumo de energía, con la consecuente reducción en los costos de operación.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**V.3.6.2 CASO B****DESCRIPCIÓN**

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

**1.- ACCIÓN CONCRETA**

Se propone el reemplazo del motor común de 30 HP, del ventilador de la torre de enfriamiento, por un motor de 30 HP, del tipo de alta eficiencia.

**2.- DESCRIPCIÓN Y ANTECEDENTES**

El motor del ventilador de la torre de enfriamiento, se encuentra trabajando 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**

Motor marca IEM de 30 HP, 1772 rpm, 220 volts, 60 Hz, 82 Amps., armazón 286T, factor de servicio 1.15, eficiencia 88%.

**VALORES MEDIDOS**

| PARAMETRO MEDIDO        | VALOR                        |
|-------------------------|------------------------------|
| Tensión de alimentación | 205.6 volts (206/206/204.7)  |
| Corriente 3Φ            | 71.9 amper (73.4/69.7/72.28) |
| Potencia Activa 3Φ      | 20.97 kW                     |
| Factor de Potencia 3 Φ  | 0.819                        |
| Distorsión Armónica     | 3.09%                        |

**TIEMPO DE OPERACIÓN**

| PARAMETRO                 | VALOR |
|---------------------------|-------|
| Horas día                 | 24    |
| Días año                  | 360   |
| En Base (horas/año)       | 2,851 |
| En Intermedia (horas/año) | 4,977 |
| En Punta (horas/año)      | 812   |
| Total                     | 8,640 |

**3.- BENEFICIOS ESPERADOS**

Ahorro por consumo y demanda máxima.

**CALCULOS****A) Cálculo de Factor de Carga**

Parámetros actuales con motor estándar.

|                                |          |
|--------------------------------|----------|
| Demanda del motor medida:      | 20.97 kW |
| Eficiencia de placa del motor: | 88%      |
| Factor de Carga                | 82.49%   |

$$\text{Factor de Carga} = \frac{20.97}{30 * 0.746 / 0.88} * 100$$

**B) Cálculo de la Diferencia de Tensión**

$$\text{DIFERENCIA DE TENSION} = \left( \frac{\text{Tensión trifásica}}{\text{Tensión nominal}} - 1 \right) * 100$$

$$\text{DIFERENCIA DE TENSION} = \left( \frac{205.6}{220} - 1 \right) * 100 = 6.56\%$$

**C) Cálculo del desbalanceo de tensión**

$$\% \text{ DESB. DE TENSION} = \frac{206 - 205.6}{205.6} * 100 = 0.19\%$$

$$\% \text{ DESB. DE TENSION} = \frac{205.6 - 204.7}{205.6} * 100 = 0.43\%$$

**AJUSTES DE EFICIENCIA**

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

**AJUSTE POR FACTOR DE CARGA**

De acuerdo a la gráfica del comportamiento de la carga de un motor típico, mostrada en el capítulo IV, 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 TENSIÓN**

Según la diferencia entre la tensión de placa y la tensión 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 tensión. Para el motor evaluado, y de acuerdo con la gráfica del capítulo IV, se tiene:

Factor de ajuste por diferencia de tensión = 0.993

**AJUSTE POR DESBALANCEO DE TENSIÓN**

Al igual que con la diferencia de tensión, el desbalanceo de tensión, ocasiona una caída en la eficiencia del motor, de acuerdo con la gráfica del capítulo anterior, por lo que tenemos:

Factor de ajuste por desbalanceo de tensión = 0.99

**AJUSTE POR REEMBOBINADOS**

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

Factor de ajuste por rebobinados = 0.9409

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

**EFICIENCIA AJUSTADA**

EFICIENCIA AJUSTADA = Eficiencia teórica (tablas) \* factor de ajuste total

El factor de ajuste total, es el resultado de multiplicar todos los ajustes entre sí.

**Factor de ajuste total** = Factor de ajuste por factor de carga \* Factor de ajuste por diferencia de tensión \* Factor de ajuste por desbalanceo de tensión \* Factor de ajuste por rebobinados

**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** =  $88\% \times 0.9249 = 81.39\%$

**Y la potencia entregada en la flecha es:**

$20.97 \text{ kW} \times 0.8139 = 17.06 \text{ kW}$

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 HP de alta eficiencia, de iguales características al actualmente instalado, es de 94.1% a plena carga.

Calculando la eficiencia ajustada, considerando que no se pueden hacer los ajustes a la tensión:

**Eficiencia ajustada motor de alta eficiencia** = **efic. teórica \* factor de ajuste total sin ajuste por rebobinado**

Eficiencia ajustada motor de alta eficiencia =  $94.1\% \times 0.983 = 92.5\%$

Para el motor de alta eficiencia:

Para entregar 17.06 kW requiere demandar

$$\text{Potencia demandada} = \frac{\text{Potencia entregada}}{\text{Eficiencia ajustada}}$$

$$\text{Potencia demandada} = \frac{17.06}{0.925} = 18.44 \text{ kW}$$

Determinación de los Ahorros, considerando tarifa HM región central, Mayo de 2003.

El ahorro en demanda es de  $20.97 - 18.44 = 2.53 \text{ kW}$

El ahorro en \$ al año =  $2.53 * \$90.63 * 12 \text{ meses} = \$2,752$

El ahorro en consumo es:

$$\text{kWh} = 2.53 \text{ kW} * 8460 \text{ h (al año)} = 21,859.2 \text{ kWh}$$

Ahorro en base

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

$$\text{Ahorro en \$ en base} = 7,213.57 \text{ kWh} * 0.4576 \$ / \text{kWh} = \$3,301$$

Ahorro en intermedia

$$\text{Ahorro en kWh intermedia} = 0.576 * 21,859.2 \text{ kWh} = 12,590 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro en \$ intermedia} = 12,590 * 0.5478 \$ / \text{kWh} = \$6,897$$

Ahorro en punta

$$\text{Ahorro en kWh en punta} = 0.094 * 21,859.2 \text{ kWh} = 2,055 \text{ kWh}$$

$$\text{Ahorro en \$ en punta} = 2,055 * 1.7124 \$ / \text{kWh} = \$3,519$$

#### AHORROS TOTALES

$$\text{Ahorro total en consumo} = \$12,353.00 + \$6,897 + \$3,519 = \$13,717$$

$$\text{Ahorro total por demanda} = \$2,752$$

$$\text{AHORRO TOTAL POR EL MOTOR} = \$16,469$$

#### 4.- MONTO POR LA INVERSIÓN

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

Costo del motor de Alta Eficiencia de 30 HP 1,575 U.S.D.

Considerando el tipo de cambio del dólar como 10.5 \$/dólar.

$$\text{Costo Total} = 1,915 \text{ U.S.D.} * 10.5 = \$16,537.50$$

NOTA: Debido a que se cuenta con personal de mantenimiento, no se consideran gastos de instalación.

**5.- PERÍODO DE AMORTIZACIÓN**

Por recuperación simple, tenemos:

$$\text{Tiempo de retorno} = \frac{\text{Costo total}}{\text{Ahorro anual}} = \frac{\$16,537.50}{\$16,469.00} = 1.00 \text{ años o 12 meses}$$

TABLA RESUMEN

| CONDICIONES                               | MOTOR DE ALTA EFICIENCIA |
|---|--------------------------|
| TARIFA CONTRATADA                         | OM                       |
| CAPACIDAD DEL MOTOR                       | 30 HP                    |
| COSTO DEL MOTOR                           | \$ 16,537                |
| HORAS DE OPERACION DEL EQUIPO             | 4,000 Hrs./año           |
| AHORRO DE LA DEMANDA                      | 2.53 kW/año              |
| AHORRO DE ENERGIA                         | 21,859 kWh/año           |
| AHORRO ECONOMICO ANUAL                    | \$16,469                 |
| TIEMPO DE RECUPERACION DE INVERSION TOTAL | 1.0 años                 |

**V.4 VARIADOR DE VELOCIDAD****V.4.1 INTRODUCCIÓN**

El variador de velocidad es un control para el motor de inducción tipo jaula de ardilla, que es el más usado en la industria por ser el más económico, simple y robusto que existe.

El variador es el único control que energiza, protege y permite la variación de la velocidad en el motor, sin ningún accesorio extra entre el motor y la carga.

Una de las limitaciones del motor de inducción es el tener velocidades fijas, sin posibilidades de variación, contrariamente a lo que ocurre con un motor de corriente continua. Siendo que los procesos y aplicaciones requieren diferentes velocidades y pares, se ha desarrollado diferentes métodos para cambiar y variar las velocidades de placa de los motores de inducción, pero la eficiencia es baja o el costo del equipo y mantenimiento es alto. Uno de estos métodos es el variador de velocidad, del cual se mostraran las ventajas de su aplicación.

Para esto es necesario conocer los procesos industriales y las necesidades de los mismos, y eso implica conocer los tipos y clase de cargas que existen.

**V.4.2 TEORÍA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD**

El variador de velocidad es conocido con diferentes nombres: convertidor de frecuencia variable, drive, inversores, etc. siendo su nombre correcto el de convertidor de frecuencia variable, pues incorpora el término de frecuencia que lo diferencia de los demás variadores de velocidad que utilizan métodos mecánicos de CD, e inversores sólo se refiere a uno de los pasos del variador de velocidad.

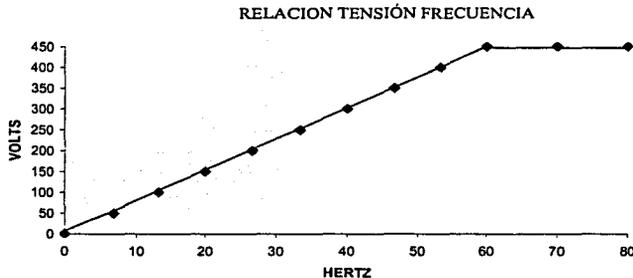
### V.4.2.1 RELACION TENSION FRECUENCIA

El variador de velocidad es el único método que controla la velocidad del motor de inducción de corriente alterna variando la frecuencia y la tensión apropiadamente.

El suministro de frecuencia desde un variador de velocidad puede realizarse a frecuencias que van desde 0 hz, hasta 120 hz o más; por lo tanto, la velocidad del motor es variable en la misma proporción en que cambia la frecuencia: así, el motor puede girar lento o muy rápido según la frecuencia suministrada por el variador de velocidad.

Al mismo tiempo, la tensión también es variable en la misma proporción que la frecuencia, para asegurar que la relación tensión / frecuencia se mantenga con el mismo valor en todo el rango de velocidades, mientras no pase de 60 hz. Esto se hace porque el par que proporciona el motor está, por diseño, determinado por esta relación.

Así, un motor de 460 volts tendrá una relación voltaje / frecuencia de 7.6. si manejamos este motor a una frecuencia de 30 hz, tendremos que suministrarle una tensión de 230 volts para mantener la misma relación y el mismo par. Cualquier cambio en esta relación puede afectar el par, la temperatura, la velocidad o el ruido que produce el mismo. Como se muestra en la gráfica V.9



**FIGURA V.9** Relación tensión frecuencia en motores de inducción

La manera como un variador de velocidad convierte la tensión y la frecuencia constante en tensión y frecuencia variable, se basa en un proceso de 2 pasos principales. Primero la corriente alterna es rectificadora y convertida a voltaje de corriente continua, después la invierte y vuelve a entregar corriente alterna pero con valores de frecuencia y tensión variables.

### V.4.3 PARTES DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD

#### Rectificador de C.D.

La parte rectificadora convierte el voltaje de c.a. en voltaje en c.d., que es más fácil internamente para el variador para generar la frecuencia variable de salida necesaria de una fuente no alterna de voltaje, por medio de un puente de diodos o rectificadores controlados por silicio que permiten el paso de corriente en un solo sentido. La tensión de línea de c.d. es 1.41 veces mayor a la tensión de c.a. pues toma el valor pico de tensión en c.a. y no la tensión rms, por lo que la tensión en bus de c.d. de un variador de velocidad con alimentación de 460 v.c.a. será de 648 v.c.d.

Una vez que se tiene la c.d., está se filtra y suaviza a través de capacitores para uniformarla lo más posible y poder entregar a la parte inversora una tensión en c.d. lineal que facilita la generación de frecuencia variable. La mayoría de los convertidores usados hoy son del tipo de modulación del ancho del pulso PWM (Pulse Width Modulation) que operan con una tensión en CD suavizado.

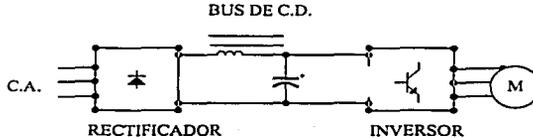


FIGURA V.10 Diagrama de bloques de un variador de velocidad

#### Filtro o Enlace

El cual dependiendo del tipo de variador, es como esta conformado; también se conoce a esta parte, "Bus de Corriente Directa".

#### Inversor

Este es sólo uno de los pasos del variador de velocidad y no representa la función total del mismo. En esta sección la tensión en c.d. se invierte y vuelve a tomar la forma alterna por medio de rectificadores controlados de silicio, también conocidos como tristores o transistores de potencia, conectados directamente al bus de tensión de c.d. y controlados por microprocesadores pero esta vez con frecuencia y voltaje variable. Esta generación trifásica de c.a. al hacerse a través de aperturas instantáneas de los transistores aunque tiene ciclos positivos y negativos toma una forma cuadrática e interrumpida similar a la alimentación de entrada simulando la onda senoidal, según las necesidades de frecuencia pero que mantiene la misma relación volts/frecuencia para el motor, a esta tecnología se le llama modulación del ancho de pulso.

### V.4.4 TIPOS DE VARIADOR DE VELOCIDAD

Aunque existen varios tipos de convertidores de velocidad, como el de inversión de la corriente de alimentación (CSI) o el de inversión de voltaje ajustable (VSI), el más utilizado por sus características de operación es el de modulación del ancho del pulso (PWM).

#### V.4.4.1 MODULACIÓN DEL ANCHO DE PULSO (PWM)

La modulación del ancho del pulso ha sido la tecnología más usada en los variadores de velocidad pues ha dado buenos resultados para controlar motores desde 0.5 h.p. hasta 500 h.p. debido a su confiabilidad, adaptación y porque genera la menor cantidad de armónicas en la línea. En esta tecnología la sección de inversión es realizada por transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT por sus siglas en ingles) los cuales regulan el voltaje y frecuencia para simular un voltaje que aunque cuadrático es muy similar al senoidal.

El término "modulación del ancho del pulso" explica como cada transición a tensión alterna es una serie de pulsos cortos de diferente ancho. Variando el ancho del pulso en cada ciclo, el promedio simula la onda senoidal. El número de transiciones del positivo al negativo por segundo determina la frecuencia

suministrada al motor. Al tener un mayor número de pulsos en cada medio ciclo, el ruido asociado a los motores controlados por variador de velocidad se reduce.

La ventaja de este método es el tener un excelente factor de potencia y una baja generación de armónicas debido al arreglo del puente de diodos que hace la rectificación, y al inductor de la línea de c.d., que algunas marcas lo manejan, no hay disfunciones en la operación del motor a bajas velocidades, tiene eficiencias mayores al 92%, puede controlar varios motores con solo un variador de velocidad, y una inversión inicial baja; entre las desventajas, es el calentamiento del motor en algunas aplicaciones debido a la alta frecuencia de resolución que pueden tener rangos desde 2 khz hasta 15 khz, y la incapacidad de regenerar.

Entre las desventajas, hay que considerar el calentamiento del motor y fallas en el aislamiento en algunas aplicaciones debido a la frecuencia de resolución, y la imposibilidad de regeneración, así como generación de armónicas en la línea en algunas aplicaciones.

La tecnología PWM es la más usada en estos días y se encuentra en todas las marcas de variadores por su bajo costo y confiabilidad.

El variador de velocidad se ha convertido en uno de los equipos eléctricos de vanguardia tecnológica, y ha llegado a ser tan común, tanto que casi todas las marcas ofrecen lo mismo en lo que se refiere a las características de operación; al incluir la electrónica de potencia como la base fundamental de operación, las ventajas adicionales que ofrecen algunas marcas son mínimas, con respecto a otras: como diferentes idiomas de operación, pantallas de fácil lectura y programación, control PI integrado, pantallas de instalación remota, etc. Por ello podría afirmarse que las ventajas reales entre una marca y otra es la calidad de los componentes que integran el variador.

#### V.4.4.2 INVERSIÓN DE LA CORRIENTE DE ALIMENTACIÓN (CSI)

Otra tecnología usada en los VDV es la llamada "Inversión de la corriente de alimentación" (CSI por sus siglas en inglés), la cual consiste en hacer la rectificación por medio de SCR's que regulan la potencia de entrada y la convierten en una tensión variable de c.d. esta tensión es regulada según las necesidades para mantener la relación tensión/frecuencia adecuada.

Los SCR's también son usados para hacer la función de la inversión; esta tecnología requiere un inductor de gran tamaño para operar y simular la carga del motor.

Las ventajas de esta tecnología es la seguridad debido a la limitación de la corriente y a la posibilidad de regeneración donde es posible; así como la sencillez en la electrónica; y las desventajas son la gran cantidad de armónicas que genera a la línea, un pobre factor de potencia debido al uso de SCR's en el convertidor, una disfunción a bajas velocidades debido a la onda cuadrática, así como el uso de un costoso inductor de gran tamaño. En esta tecnología no se pueden controlar varios motores con un solo convertidor.

#### V.4.4.3 INVERSIÓN DEL VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN (VSI)

Otra tecnología es la llamada "Inversión del voltaje alimentación" (VSI por sus siglas en inglés) que es muy similar al CSI por usar SCR's para regular la tensión de c.d.. Su sección de inversión produce una salida de 6 pasos, pero no es un regulador de corriente como en el CSI. Este convertidor es considerado un regulador de tensión y usa transistores, SCR's o tristores de compuertas (GTO's por sus siglas en inglés).

Las ventajas de este variador, son la simplicidad en el diseño y que puede ser aplicable a varios motores un solo VDV; y en sus desventajas se encuentran, la gran generación de armónicas, un bajo factor de potencia, también una disfunción de bajas frecuencias, y la imposibilidad de regeneración.

La disfunción del motor en bajas velocidades de la que se habla en las tecnologías CSI y VSI es debido a que al tener pulsos cuadrados se hacen más notorios en bajas velocidades y el rotor espera a que el siguiente campo magnético se intensifique en el estator; eso hace que la flecha no gire a una velocidad constante, debido a esto los engranes o partes mecánicas sufran una fricción y un esfuerzo extra. A altas velocidades, la inercia del motor proveerá un movimiento continuo de la flecha.

#### V.4.4.4 FLUJO VECTORIAL

Esta tecnología aunque usa los principios de PWM, ha sido mejorada con microprocesadores de 32 bits llamados inteligentes y que son usados en Variadores de Flujo Vectorial.

Los variadores de c.a. siempre han estado limitados a aplicaciones de par normal mientras que las de alto par, y bajas RPM han sido el dominio de los de C.D. esto ha ido cambiando recientemente con la introducción de una nueva generación de la tecnología PWM, el variador de flujo vectorial.

El método de control de par usado en el convertidor de flujo vectorial es similar al usado en los de C.D., incluyendo un amplio rango de velocidades con una rápida respuesta. Este variador tiene la misma sección de potencia que los PWM, pero usa un sofisticado control de lazo cerrado del motor al microprocesador del convertidor. La posición y velocidad del rotor es monitoreada en el tiempo real a través de un posicionador o codificador digital que determina y controla la velocidad, par y potencia del motor.

Al controlar la sección de inversión en respuesta a las condiciones actuales de la carga en tiempo real, se obtiene un control superior del par.

Las ventajas de este tipo de variador son: un excelente control de la velocidad, par y potencia, una respuesta rápida a los centros de carga, velocidad y par demandadas; 100% de par a velocidad cero; costos de mantenimiento relativamente bajos comparados con los de C.D.

Entre las desventajas se encuentran costos iniciales más altos que los de tipo estándar; en la mayoría de los casos requieren motores especiales para este tipo de tecnología debido a los requerimientos de par, y una programación del equipo ligeramente más complicada.

#### V.4.4.5 NUEVA GENERACIÓN DE VARIADORES DE VELOCIDAD

En la actualidad la mayoría de las grandes firmas están desarrollando un tipo de convertidor en donde toma los beneficios de todas las tecnologías anteriormente descritas, con la finalidad de tener un control de velocidad, par y potencia tan preciso como el de C.D. pero con la ventaja de ser un lazo abierto para eliminar los elementos de codificación y retroalimentación así como los costos iniciales y de mantenimiento que estos conllevan.

Una de las tecnologías recientemente sacada al mercado es la llamada *Control de Par Directo*; donde los principios básicos de operación, son los siguientes.

Una vez conectado el motor y antes de conectar la carga se hace una identificación de los parámetros eléctricos que se van del motor sin carga al recorrer todo el rango de velocidades, con una secuencia ya establecida por el VDV, esto dura aproximadamente, 1 minuto; lo anterior se debe hacer cada vez que se cambie el motor sin importar la potencia del mismo pues cada motor tiene sus propias características; una vez realizado se configura en la memoria del convertidor un modelo matemático del motor con el que se va a trabajar guardándolo inclusive cuando se desconecta totalmente.

Durante la operación, el modelo recibe la información de la corriente que el motor demanda en alterna en sus 3 fases, los valores de voltaje del bus de C.D., además del estado de los interruptores de potencia. Con estos datos se calcula el flujo del estator, el par, la frecuencia y la velocidad de cada ciclo; y hay un ciclo cada 25 milisegundos. Además el modelo estima la resistencia del estator; este valor lo obtiene comparando los datos obtenidos de la identificación inicial y en la subsecuente operación del mismo.

La diferencia en el modulo de inversión también es considerable con respecto a las demás tecnologías; mientras que en la de PWM se tiene modulación específica llamada switcheo y se lleva a cabo en un solo sentido e invariable, en la tecnología Control de Par Directo se controla la apertura y cierre de cada uno de los switch instantáneamente sin importar la ubicación para producir la cantidad y flujo necesarios en sus diferentes componentes para desarrollar el par requerido, en este tipo de variadores se sigue usando la tecnología IGBT.

Este tipo de variadores de velocidad es ideal para aplicaciones de una complejidad mayor que generalmente se controlan con motores de C.D., como extrusoras, grúas, elevadores, centrifugas, papeleras, impresora, maquinaria de embalaje, embobinadoras y otras aplicaciones con requerimientos similares.

Entre las ventajas de esta tecnología están, eliminar el sobrecosto de los elementos de retroalimentación o codificación que en la mayoría de los casos representan del 20 al 30% del costo de inversión, se tiene una velocidad de respuesta mayor a los cambios de velocidad y par que los demás variadores, 100% de par a velocidad 0; así como par constante en todo el rango de velocidades.

En las tecnologías anteriormente descritas hay que tener muy presentes el calentamiento que pueda llegar a sufrir el motor al disminuir la velocidad del ventilador de enfriamiento acoplado al mismo en la parte posterior. Si el motor va a trabajar en rangos de velocidad de 0 a 15 Hz durante lapsos prolongados, se recomienda instalar ventilación extra a la del motor para asegurar el enfriamiento adecuado; algunas marcas manejan el motor con ventilación acoplada pero conectada eléctricamente independiente.

Las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías, son las que determinan si es recomendable o no usarla en cada tipo de aplicación.

Las ventajas adicionales que ofrecen algunas marcas son mínimas con respecto a otras que deben ser consideradas al momento de hacer la elección: como el idioma de programación y lectura, facilidad de programación y lectura, datos que aporta el equipo como amperaje, % de par, potencia, voltajes, status, etc., pantallas remotas, reactores de choque para disminuir armónicos, desconectores internos, fusibles de rápida acción integrados, control PL: etc. Lo que realmente hace la diferencia entre un equipo y otro, es la calidad de los componentes que lo integran y el servicio pre y post venta.

#### V.4.4.6 VARIADORES DE VELOCIDAD QUE NO PRODUCEN ARMÓNICAS

Otra tecnología que ya lleva varios años desarrollando por una compañía muy conocida a nivel mundial, es la de variadores de velocidad que producen bajos contenidos de armónicas tanto hacia el motor como hacia la línea de alimentación tanto en baja como en media tensión.

Estos variadores de velocidad, además de proporcionar los beneficios del control de la velocidad y el ahorro de energía, no provocan distorsiones a la línea de alimentación ni daños al motor.

Por lo que para su aplicación no es necesario degradar la potencia del motor ni sobredimensionar el aislamiento del cable o del motor, para el caso de media tensión.

La forma como se consigue eliminar las armónicas es instalando transformadores de alimentación con devanados aislados entre sí, de cierta forma, que las armónicas se eliminen entre ellas.

Con esto, los problemas por las armónicas no se producen.

## V.4.5 ARMÓNICAS

Se observa que el uso de variadores de velocidad es creciente en la industria, comercio y sector público. Estos variadores de velocidad aportan indudables beneficios como son: mejoramiento en el control de procesos, flexibilidad en condiciones variables, ahorro de energía y reducción en las necesidades de mantenimiento. Es prudente sin embargo, no omitir algunas desventajas.

El principio de operación de los variadores de velocidad se basa en elementos estáticos de disparo o apertura como diodos, transistores y tiristores; los cuales son cargas no lineales en el suministro eléctrico. La tensión de suministro es prácticamente senoidal pero los elementos estáticos causan distorsión en la línea, debido a que las corrientes generadas tienen forma rectangular. Este efecto se llama Distorsión Armónica y en exceso afecta a otras cargas conectadas a la línea, como a los transformadores de alimentación.

Las tensiones y corrientes armónicas son múltiplos exactos de la frecuencia fundamental, que en este caso es de 60 Hz. Las armónicas generadas por los rectificadores trifásicos de 6 pulsos usados en los variadores de velocidad son de la 5ª, 7ª, 11ª, 13ª, 17ª, etc. La tensión distorsionada puede causar problemas a otras cargas conectadas a la línea o sobrecargas a algunos componentes eléctricos que sean parte del sistema. Las cargas más sensibles son otros componentes electrónicos, pero también los motores pueden ser afectados. En el sistema de distribución, los capacitores de corrección de factor de potencia y transformadores de distribución son los más afectados por las corrientes armónicas.

### V.4.5.1 MINIMIZACIÓN DE LAS CORRIENTES ARMÓNICAS

Como ya se comentó, algunas tecnologías usadas en los variadores de velocidad generan más armónicas que otras debido al tipo de rectificador; asimismo, la tecnología que genera menos armónicas es la PWM, por rectificar con puente de diodos y tener un inductor en la línea de c.d. (en algunos casos).

Es importante considerar algunas sugerencias que ayudarán a disminuir la generación de armónicas para evitar problemas, como son:

- Instalar los variadores de velocidad con cableado de potencia y tierra apropiados. Es importante seguir las normas de instalación del fabricante.
- Instalar el cableado del motor independiente a la alimentación y al cableado de control.
- Aterrizar el gabinete, el motor y la canalización.
- Usar cable blindado para el cableado de control.
- Evitar cableados largos.

Si la generación de armónicas es amplia, la solución será hacer un análisis y calcular los porcentajes de distorsión para cada armónica e instalar trampas o filtros dimensionados apropiadamente.

La mejor manera de solucionar un problema de estas características, es eliminar las armónicas mediante un filtro de armónicas, el cual está formado por un capacitor y un reactor conectados en serie y referidos a tierra y que a su vez se conectan en paralelo al equipo generador de armónicas, el reactor se sintoniza para que al detectar la presencia de una determinada armónica la envíe a tierra, con lo que se limpia la instalación de la presencia de las armónicas.

### V.4.5.2 NORMALIZACIÓN

Aunque en México no existe una normalización obligatoria relativa al contenido de las armónicas, mencionaremos la especificación de CFE L000-45, denominada Perturbaciones Permisibles en las Formas de Onda de Tensión y Corriente de Suministro de Energía Eléctrica, la cual es provisional. También nos referiremos a la norma IEEE-519-1992, la cuál es de carácter obligatorio en Estados Unidos y es la que define los niveles máximos de armónicos permitidos en una instalación eléctrica.

A continuación se presentan los valores máximos permitidos, tanto para corriente como para voltaje y cuyas recomendaciones se consideran vigentes para problemas de armónicas.

**TABLA V.8 LÍMITES MÁXIMOS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL EN TENSIÓN Y DE CAIMIT EN EL PUNTO DE ACOPLAMIENTO COMÚN (ESPECIFICACIÓN L000-45 DE CFE)**

| Tensión kV  | Clasificación de Tensión | Distorsión Armónica Total en Tensión % | Distorsión Armónica Individual CAIMIT % |
|-------------|--------------------------|--|---|
| Menor a 1   | Baja Tensión             | 8                                      | 5                                       |
| De 1 a 69   | Distribución             | 5                                      | 3                                       |
| De 70 a 138 | Subtransmisión           | 2.5                                    | 1.5                                     |
| Mayor a 138 | Transmisión              | 1.5                                    | 1                                       |

**TABLA V.9 VALORES LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN CORRIENTE (%) SEGÚN NORMA IEEE-519-1992**

| Icc/carga     | Orden de la Armónica |            |            |            |            | Distorsión Total % |
|---------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|--------------------|
|               | Menor a 11           | De 11 a 16 | De 17 a 22 | De 23 a 24 | Mayor a 35 |                    |
| Menor a 20    | 4                    | 2          | 1.5        | 0.6        | 0.3        | 5                  |
| De 20 a 50    | 7                    | 3.5        | 2.5        | 1          | 0.5        | 8                  |
| De 50 a 100   | 10                   | 4.5        | 4          | 1.5        | 0.7        | 12                 |
| De 100 a 1000 | 12                   | 5.5        | 5          | 2          | 1          | 15                 |
| Mayor a 1000  | 15                   | 7          | 6          | 2.5        | 1.4        | 20                 |

**TABLA V.10 VALORES LÍMITES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN TENSIÓN (%) SEGÚN NORMA IEEE-519-1992**

| Máxima Distorsión % | Tensión del sistema en kV |             |             |
|---------------------|---------------------------|-------------|-------------|
|                     | De 2.3 a 69               | De 60 a 138 | Mayor a 138 |
| Individual          | 3                         | 1.5         | 1           |
| Total               | 5                         | 2.5         | 1.5         |

En lo que respecta a los armónicos en corriente, el porcentaje máximo permisible, se calcula de acuerdo con la porción entre la corriente de corto circuito del sistema donde se conecta la acometida del cliente y la corriente de la carga del cliente, es decir, la corriente que en un momento dado consume toda su instalación.

## V.4.6 APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS VARIADORES DE VELOCIDAD

### V.4.6.1 INTRODUCCIÓN

La instalación de los VDV nacen básicamente de dos motivos principales: el primero es el mejoramiento en el proceso en sí, mientras que el segundo es el ahorro de energía.

Sin embargo, la instalación de los mismos pueden conllevar los dos fines o uno sólo; para esto es importante conocer los procesos industriales y las necesidades de los mismos, esto implica conocer los tipos y clases de cargas que existen. Se dividen básicamente en tres, y a continuación se explican.

Hay que recordar que el torque de la máquina es independiente de la velocidad del motor, y que la potencia requerida por la carga es variable e incrementa conforme aumentamos la velocidad en rpm.

### V.4.6.2 TIPOS DE CARGAS

#### CARGAS DE PAR CONSTANTE

Es la carga que demanda del motor un par constante en cualquier rango de velocidad; por ejemplo, los elevadores, bandas transportadoras, maquinaria textil, impresoras, bombas de desplazamiento positivo y de pistón, extrusoras, mezcladoras, compresores recíprocos, etc; representan el 80% de los motores instalados.

En este tipo de carga el motivo principal para la aplicación de los VDV es la optimización del proceso y rara vez hay ahorros de energía; a menos que se cumplan estas dos condiciones: que la potencia demandada sea menor a la nominal y que esto sea a velocidades menores.

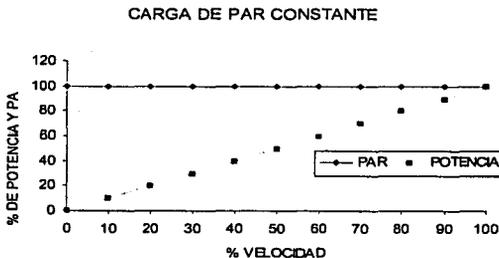


FIGURA V.11 Gráfica Potencia-Par-Velocidad de cargas de par constante

#### CARGAS DE PAR VARIABLE

Es el tipo de carga en la cual las necesidades de par o torque van disminuyendo conforme la velocidad del motor y por consiguiente de la carga también disminuyen. Este tipo de carga se encuentra comúnmente en aplicaciones de flujo variable, como ventiladores, bombas centrífugas, agitadores y compresores axiales. El VDV ofrece grandes oportunidades de ahorro pues sus requerimientos de potencia disminuyen considerablemente conforme la velocidad es menor.

**CARGA DE PAR VARIABLE**

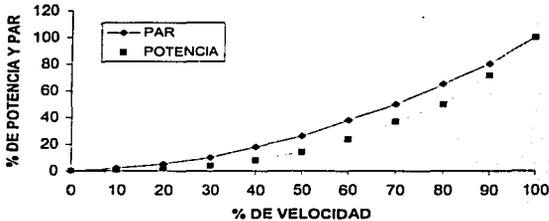


FIGURA V.12 Gráfica Potencia-Par-Velocidad de cargas de par variable

**CARGAS DE POTENCIA VARIABLE**

Es el tipo de carga en la que no importa la velocidad a la que este girando el motor pues siempre va a estar demandando la potencia máxima, pues así lo demanda la carga. Estas cargas se encuentran básicamente en máquinas herramientas, bobinadoras, troqueladoras, bombas centrífugas de alta inercia. En estas cargas difícilmente podremos obtener ahorros de energía, debido a que el proceso exige el máximo de la potencia o en todo caso kW.

**POTENCIA CONSTANTE**

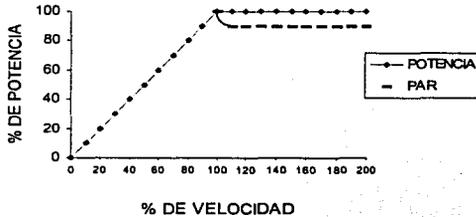
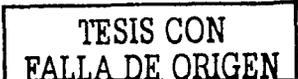


FIGURA V.13 Gráfica Potencia-Par-Velocidad de cargas de potencia constante.

Muchas de las aplicaciones de velocidad variable utilizan reductores después del motor debido a las necesidades de velocidades bajas y pares altos; ya sea que la reducción se haga por medios mecánicos como engranes, poleas, bandas, etc. es necesario tomar en cuenta las relaciones de reducción y considerar el motor y el reductor exacto para el caso específico.



## V.4.7 AHORRO DE ENERGÍA CON VARIADOR DE VELOCIDAD

### V.4.7.1 AHORRO DE ENERGÍA EN CARGAS DE PAR VARIABLE

En este apartado vamos a ver cuales son las características y por que el ahorro en cargas de par variable. Se considera que los potenciales de ahorro de energía que el 70% de las aplicaciones de los accionamientos de velocidad variable son en este tipo de cargas.

Como vimos con anterioridad, las cargas de par variable son las que involucran movimientos de fluidos como agua y aire, y el mayor número de estas aplicaciones son bombas y ventiladores centrífugos.

Analizaremos ahora cuales son las leyes que rigen estos sistemas, que nos permiten tener ahorros de energía en velocidades menores a las nominales.

En cualquier sistema de movimiento de fluidos por medio de impulsores centrífugos, que en este caso pueden ser un ventilador o una bomba, el caudal Q, que es un valor dado en volumen por unidad de tiempo, siempre estará relacionado proporcionalmente a la velocidad del impulsor; por ejemplo, si un ventilador centrífugo que gira a 3600 RPM mueve una cantidad de 2 m<sup>3</sup> de aire por segundo, ese mismo ventilador al girarlo a 1800 RPM moverá una cantidad de aire de 1m<sup>3</sup> de aire por segundo, sin importar que es lo que hace girar al ventilador.

Ahora este caudal que es proporcional a la velocidad, es impulsado a diferentes presiones según cambie la velocidad y la presión es un valor dado en fuerza aplicada por unidad de área y se comporta de manera cuadrática conforme cambie la velocidad:

$$\frac{\text{Presión} \cdot a}{\text{Presión} \cdot b} = \frac{(\text{rpm} \cdot a)^2}{(\text{rpm} \cdot b)^2} \dots (19)$$

Utilizando el mismo caso y, si suponemos que a 3600 rpm la presión del aire impulsado tiene una magnitud de 1 kg/m<sup>2</sup>, cuando esta girando a 1800 rpm tendrá una presión de 0.25 kg/m<sup>2</sup>, pues su disminución no es lineal sino cuadrática.

Ahora para realizar este trabajo, se necesita determinada potencia a fin de producir ese caudal con cierta presión, ya sea que ese trabajo se realice por medios eléctricos o mecánicos, la demanda de potencia será la misma para proceso similares y la demanda de esta potencia se comportará de manera cúbica.

$$\frac{\text{Potencia} \cdot a}{\text{Potencia} \cdot b} = \frac{(\text{rpm} \cdot a)^3}{(\text{rpm} \cdot b)^3} \dots (20)$$

En el caso anterior, suponiendo que la potencia demandada para tener un caudal Q<sub>a</sub> de 2m<sup>3</sup> con una presión de 1kg/m<sup>2</sup> es de 10 kW; la potencia necesaria para tener un caudal Q<sub>b</sub> de 1m<sup>3</sup> con una presión de 0.25 kg/m<sup>2</sup> sería de 1.25 kW.

Estas disminuciones de potencia demandada en una relación cúbica, son las que nos permiten tener ahorros de energía en las cargas de par variable a velocidades menores a las nominales; el variador de velocidades el único método que da todo el rango de velocidades según sean las demandadas, y no requieren de ningún tipo de equipo extra entre el motor y la carga.

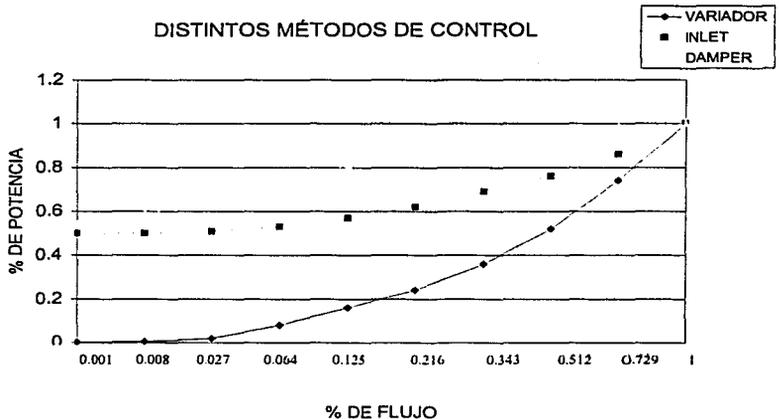
En un sistema de manejo de fluidos no tendría ninguna ventaja instalar variadores de velocidad si las necesidades de caudal y presión no tuvieran variaciones, y siempre requiriesen las máximas condiciones de trabajo; pero, generalmente los sistemas de bombeo e inyección de aire se diseñan originalmente considerando el punto máximo de operación. Todas las partes involucradas en el diseño como tuberías,

impulsores, motores, válvulas, tanques, etc., también se encuentran diseñados para abastecer el volumen máximo requerido.

Considerando lo anterior, y que la mayoría de los sistemas tienen variaciones de demanda y caudal, se requiere de un sistema de control para regular continuamente el volumen del caudal de acuerdo con las necesidades. Normalmente el caudal promedio en un sistema, es sólo una parte de la capacidad máxima del sistema.

El control de caudal se puede llevar a cabo de diferentes maneras, como las siguientes: recirculación, compuertas, válvula de estrangulación, cajas de volumen variable, control arranque/paro y variadores de velocidad.

Los métodos que implican nulo ahorro de energía son los de recirculación y arranque/paro mientras que los métodos de control de obturador o estrangulamiento, son los más usados pero su eficiencia es muy baja, la disminución en los consumos de energía es casi insignificante, pues el motor continúa trabajando a su velocidad nominal tratando de sobreponerse a las contrapresiones innecesarias.



**FIGURA V.14** Distintos métodos de control de flujo

Aquí es donde el variador de velocidad sustituye a cualquier tipo de control, y es el único que reduce la velocidad del equipo sin necesidades de elementos mecánicos extras; los ahorros obtenidos en la operación pueden llegar al 60%.

#### V.4.7.2 AHORRO DE ENERGÍA CON CARGAS DE PAR CONSTANTE

Como se mencionó anteriormente, en una aplicación de par constante también es factible ahorrar energía eléctrica durante el arranque y al operación, siempre y cuando se tengan variaciones en la carga y/o el equipo no se encuentre a su capacidad nominal.

Pongamos el ejemplo de una banda transportadora de material pesado. Las bandas siempre se dimensionan para transportar la máxima capacidad a la que fue diseñada, por lo tanto el motor en determinadas ocasiones va a trabajar sobrado pues no siempre va a transportar la máxima carga, e inclusive sin carga pues no se les alimenta de material regularmente; en esos momentos si la velocidad baja el consumo de potencia va a disminuir conforme a lo solicitado por la carga.

Una banda medio cargada consume sólo un poco menos de energía que una completamente cargada. Una banda parcialmente cargada puede consumir hasta el 80% de la energía necesaria para transportar la carga completa. Esta relación se empeora si la banda va vacía, pues consume del 50 al 70% de la energía requerida para la carga nominal, de tal forma que aunque no esté realizando ningún trabajo ni suministrando material hay consumo de energía y un desperdicio del 50% de la energía instalada.

Con un VDV se logra ajustar la velocidad de la banda al material disponible en un momento dado. Regulando la velocidad en base al factor de carga. Viéndolo de otra forma, si la cantidad del material por transportar disminuye a la mitad; la velocidad de la banda disminuiría a la mitad; y si la cantidad de material disminuye de tal forma que la banda va vacía, la velocidad de la banda se reduce hasta un mínimo, con el correspondiente ahorro de energía.

#### Aplicación de la ley cúbica

En la industria, los procesos requieren de cierta flexibilidad ya que no siempre operan a carga constante, sino que deben satisfacer necesidades variables dentro de un rango máximo y mínimo de flujos.

Estos flujos pueden ser: combustible, agua, materia prima, aire y otros fluidos.

Como medio de control de flujo se utilizan ampliamente válvulas de estrangulación o válvulas de control cuyo principio de control se basa en provocar una caída de presión mayor o menor del flujo a través de ella.

Un método alternativo para control de flujo es mediante la variación de velocidad directamente en el equipo, por ejemplo, en una bomba.

#### Leyes de afinidad

En el caso de sistemas de impulsión de fluidos líquidos y gaseosos cuando las presiones no son muy altas, como es el caso de bombas y ventiladores respectivamente, existen ciertos parámetros y leyes físicas que rigen su funcionamiento; este no es el tema de estudio principal de este escrito, y por lo tanto, no daremos detalle de la teoría de donde obtenemos las relaciones que a continuación les presentamos como "leyes de semejanza", para fluidos y sus equipos impulsores.

$$D_1/D_2 = Q_1/Q_2 = N_1/N_2 \dots (21)$$

$$D_1/D_2 = Q_1/Q_2 = (H_1/H_2)^{1/2} \dots (22)$$

$$D_1/D_2 = Q_1/Q_2 = (P_1/P_2)^{1/3} \dots (23)$$

Donde

Q= Flujo

N=Velocidad de la bomba, ventilador, compresor

P= Potencia al freno, requerida por el equipo

D= Diámetro del impulsor

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Estas pueden ser acomodadas en varias formas:

$$\begin{aligned} Q_1/Q_2 &= D_1/D_2 \\ H_1/H_2 &= (Q_1/Q_2)^2 \\ P_1/P_2 &= (Q_1/Q_2)^3 \end{aligned}$$

Tres de las cuatro variables deben ser conocidas para poder determinar la cuarta

### EJEMPLOS

1.- Determinar el comportamiento de la bomba si está operando a 75% de la velocidad nominal.

$$\begin{aligned} N &= 3498 \text{ rpm} \\ Q &= 0.72 \text{ m}^3 \text{ por minuto} \\ H &= 70 \text{ m} \\ P &= 12 \text{ kW} \end{aligned}$$

Como primer paso se calcula la nueva velocidad:

$$N_2 = 3498 \text{ rpm} \cdot 0.75 = 2623 \text{ rpm}$$

$$\text{Tal que } N_1/N_2 = 3498 / 2623 = 1.333$$

Por tanto, se obtienen los siguientes valores:

$$\begin{aligned} Q_2 &= Q_1 / 1.333 = 0.72 / 1.333 = 0.54 \text{ m}^3 \text{ por minuto} \\ H_2 &= H_1 / (.333)^2 = 39.4 \text{ metros} \\ P_2 &= P_1 / (1.33)^3 = 5.1 \text{ kW} \end{aligned}$$

2.- Una bomba tiene un flujo inicial de 48 m<sup>3</sup> por hora, sin embargo se recirculan 8m<sup>3</sup> por hora, es decir, se requiere un flujo de 40 m<sup>3</sup>. determinar el comportamiento de la bomba si trabaja únicamente con el flujo requerido.

$$\begin{aligned} N &= 1765 \text{ rpm} \\ Q &= 48 \text{ m}^3 \text{ por hora} \\ H &= 80 \text{ m} \\ P &= 14 \text{ kW} \end{aligned}$$

Mediante las relaciones de afinidad se determinan los siguientes parámetros:

$$\begin{aligned} N_2 &= (Q_2 / Q_1) \cdot N_1 = (40 / 48) \cdot 1765 = 1470 \text{ rpm} \\ H_2 &= H_1 / (Q_1 / Q_2)^2 = 80 / (48 / 40)^2 = 55.55 \text{ m} \\ P_2 &= P_1 / (Q_1 / Q_2)^3 = 14 / (48 / 40)^3 = 8.1 \text{ kW} \end{aligned}$$

3.- Una bomba con un impulsor inicial de 7 pulgadas (0.178 metros), se pretende cambiar dicho impulsor por uno de 6 pulgadas (0.1524 metros). Las condiciones actuales de operación son las siguientes:

$$\begin{aligned} N &= 1755 \text{ rpm} \\ Q &= 30 \text{ m}^3 \text{ por hora} \\ H &= 60 \text{ m} \\ P &= 10 \text{ kW} \end{aligned}$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Calcular todos los parámetros de operación con el nuevo impulsor.

$$Q_2 = Q_1 / (D_1 / D_2) = 30 / (0.178 / 0.1524) = 25.7 \text{ m}^3 \text{ por hora}$$

$$H_2 = H_1 / (D_1 / D_2)^2 = 60 / (0.178 / 0.1524)^2 = 44 \text{ m}$$

$$P_2 = P_1 / (D_1 / D_2)^3 = 10 / (0.178 / 0.1524)^3 = 6.3 \text{ kW}$$

#### V.4.8 COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN CON UN VARIADOR DE VELOCIDAD

Un motor de inducción, consume durante el arranque de 5 a 7 veces su corriente nominal. Para reducir la caída de voltaje que esto ocasiona, las líneas de alimentación y los transformadores deben sobredimensionarse.

Con un variador de velocidad, se desarrolla un arranque lento y suave, logrando con ello que el motor consuma únicamente la energía efectiva que requiere. De esta forma, las líneas de alimentación y los transformadores pueden ser dimensionados sólo para que cubran las cargas de operación requeridas.

#### V.4.9 CASOS PRÁCTICOS DE APLICACIÓN DE VARIADOR DE VELOCIDAD

##### V.4.9.1 CASO A

##### DESCRIPCIÓN

Se tiene un sistema de bombeo de agua, que actualmente se maneja con válvula de estrangulación, presentando actualmente, las siguientes condiciones operativas que concuerdan con las de diseño:

| DATOS DE DESCRIPCIÓN DE LA BOMBA |                       |          |                         |
|----------------------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| PARÁMETRO                        | SÍMBOLO               | CANTIDAD | UNIDAD                  |
| FLUJO                            | Q                     | 35       | Litros Por Minuto (LPM) |
| ALTURA DE DISEÑO                 | H <sub>diseño</sub>   | 23.5     | Metros                  |
| ALTURA DEL FLUIDO                | H <sub>estática</sub> | 10       | Metros                  |
| TIEMPO DE OPERACIÓN              | t <sub>total</sub>    | 8,300    | Horas / año             |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

**TARIFA CONTRATADA**

Tarifa 03

Costo por kWh de energía consumida (al mes de mayo de 2003) = \$ 0.894

Costo por kW demanda (al mes de mayo de 2003) = \$ 141.88

Densidad del agua = 1,000 kg/m<sup>3</sup>

Se estima que el flujo promedio demandado durante el período de 1 año es de 65% de la capacidad de la bomba, por lo tanto:

$$Q_{\text{promedio}} = 35 \text{ LPM} * 0.65 = 22 \text{ LPM}$$

**1.- ACCION A EMPRENDER**

Se desea sustituir la válvula estranguladora por variador de velocidad

**2.- RESULTADOS ESPERADOS**

Se espera un ahorro económico por disminución de energía consumida.  
Se espera un ahorro en la demanda máxima del mes.

**3.- CALCULOS, ESTIMACIONES Y AHORROS**

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**ANALISIS OPERATIVO DE LA BOMBA  
TIEMPO vs FLUJO**



A partir de la curva característica del sistema se obtienen los siguientes valores:

**TABLA DE DATOS DE LA BOMBA**

| PARAMETRO       | VÁLVULA DE ESTRANGULACIÓN | VARIADOR DE VELOCIDAD |
|-----------------|---------------------------|-----------------------|
| H (m)           | 27.5                      | 16                    |
| $\eta$ BOMBA    | 65                        | 80                    |
| $\eta$ MOTOR    | 85                        |                       |
| $\eta$ VARIADOR | 80                        |                       |

**AHORRO EN DEMANDA**

Con base en la curva de la bomba se determina la potencia eléctrica leyendo el valor en la curva de potencia contra flujo o bien, se determina de la siguiente manera:

**POTENCIA CONSUMIDA**

$$P = \frac{(g * Q_{\text{PROMEDIO}} * H) / \prod \eta}{\rho} \dots (24)$$

donde:

$g$  = aceleración de la gravedad

$Q_{\text{promedio}}$  = gasto promedio de la bomba

$\rho$  = densidad del agua

$H$  = altura promedio

$\eta$  = eficiencia

Potencia Sin Variador (sv)

$$P(\text{sv}) = \frac{(9.81 * 22 * 27.5) / (0.65 * 0.85)}{1000} = 10.74 \text{ kW}$$

Potencia Con Variador (cv)

$$P(\text{sv}) = \frac{(9.78 * 22 * 16) / (0.80 * 0.85 * 0.80)}{1000} = 6.34 \text{ kW}$$

Ahorro en demanda = 10.74 - 6.34 = 4.4 kW

Ahorro en energía = 4.4 kW \* 8300 h = 36,520 kWh

**Ahorro económico únicamente por energía:**

36,520 \* \$ 0.894 = \$ 32,648 por año

**4.- MONTO DE LA INVERSIÓN REALIZADA**

Costo del Variador de Velocidad = \$ 33,088.00

**5.- TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN**

Tiempo de recuperación en años = \$ 33,088 / \$32,648 por año = 1 año

**V.4.9.2 CASO B****DESCRIPCIÓN**

A continuación analizaremos otro caso, esta vez la instalación de un variador de velocidad de 25 HP, en una bomba de agua helada, que es parte del sistema de refrigeración de un hotel, y los ahorros que se están obteniendo, además de las ventajas adicionales que se obtuvieron.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El sistema de bombeo de agua helada está conformado por 2 bombas centrifugas que son impulsadas por motores de 25 HP y 3550 rpm y la descarga puede estar conectada en paralelo o independientemente según sea la apertura de la válvula de paso.

| HORARIO DE FUNCIONAMIENTO AL DÍA (HORAS) |         |              |
|--|---------|--------------|
| MOTOR 1                                  | MOTOR 2 | TIEMPO TOTAL |
| 24                                       | 14      | 38           |

La utilización de las 2 bombas al mismo tiempo, se daba cuando la temperatura ambiental era más alta durante el día.

El sistema de arranque/paro era manual y se hacía por diferenciales de temperatura del agua helada, al entrar y salir de las compresoras reciprocantes, que también se hacía por mediciones visuales.

Se tiene contratada una tarifa de servicio general, la que se describe a continuación.

| TARIFA 03 REGIÓN CENTRAL (MAYO DE 2003) |                                    |
|---|------------------------------------|
| COSTO POR kW DEMANDA                    | COSTO POR kWh DE ENERGÍA CONSUMIDA |
| 141.88 \$/kW                            | 0.894 \$/kWh                       |

#### 1.- ACCIÓN CONCRETA

Se determinó que se podrían conseguir ahorros sustanciales si se implementaba un variador de velocidad en una de las bombas y la otra se dejaba como bomba auxiliar en caso de que sea necesario trabajar más de una bomba; mientras que la bomba controlada por variador haría el trabajo fraccional requerido.

En las áreas públicas del hotel como restaurantes, lobby, salones; al igual que en las habitaciones se regula la temperatura por medio de termostatos, y al entrada de agua helada a las unidades manejadoras de aire o ventiladores se controla por medio de 3 válvulas de 3 vías; si en determinado momento la temperatura desciende por debajo del nivel de confort; las válvulas cierran para permitir que la temperatura se regule. Al igual en las habitaciones al momento de apagar el aire acondicionado automáticamente la válvula cierra y no hay flujo de agua helada.

Esto hace que en determinados momentos cuando la temperatura ambiente sea fría, como en la madrugada, o cuando la ocupación es baja, la bomba o bombas, trabajaran innecesariamente pues el caudal de agua helada necesario para acondicionar el edificio es menor al nominal.

Para resolver este problema se determinó cuál es la presión necesaria para que el agua helada llegue hasta el punto más remoto del sistema de enfriamiento; se colocó un transductor de presión en la tubería que controla el variador de velocidad para que siempre mantenga esa presión o en su defecto baje su velocidad cuando la presión aumenta por cierre de válvulas.

La bomba auxiliar entra cuando no es suficiente que la bomba con variador de velocidad trabaje con su velocidad nominal para mantener la presión requerida; este arranque lo hace automáticamente el variador por medio de relevadores internos.

La bomba de velocidad variable oscila desde un 75% hasta un 100% de la velocidad nominal; y en cambio el promedio de horas que trabaja la otra bomba disminuyó de 14 a únicamente 5 horas al día; haciendo la aclaración de los valores dados en este ejemplo, tanto antes de la instalación del variador como después se tomaron en la temporada de verano, que es cuando las condiciones climáticas son más drásticas.

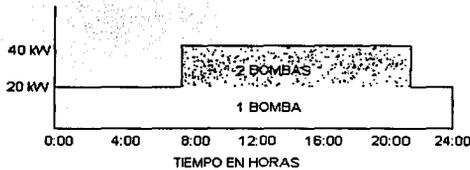
A continuación se presentan los horarios y consumos en kWh del sistema de bombeo que arrojaron en promedio antes y después de la instalación del variador de velocidad y aclarando que son variables dependiendo de la temporada del año.

## 2.- RESULTADOS ESPERADOS

Ahorro económico por disminución de demanda máxima.  
 Ahorro económico por disminución de energía consumida.

## 3.- ESTIMACIONES, CALCULOS Y AHORROS

COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA ANTES DE INSTALAR VARIADOR DE VELOCIDAD EN UN LAPSO DE 24 HORAS



\* DEMANDA MAXIMA 40 KW

CONSUMO POR DÍA Y MES EN kWh ANTES DE INSTALAR VARIADOR DE VELOCIDAD

| TIEMPO (HORAS)           | DEMANDA (kW) | CONSUMO (kWh) |
|--------------------------|--------------|---------------|
| 14                       | 40           | 560           |
| 10                       | 20           | 200           |
| <b>TOTAL kWh POR DIA</b> |              | <b>760</b>    |
| <b>TOTAL kWh POR MES</b> |              | <b>22,800</b> |

COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA DESPUES DE INSTALAR VARIADOR DE VELOCIDAD EN UN LAPSO DE 24 HORAS



\* DEMANDA MAXIMA 27 KW

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**CONSUMO POR DÍA Y MES EN kWh DESPUÉS DE INSTALAR VARIADOR DE VELOCIDAD**

| TIEMPO (HORAS)           | DEMANDA (kW) | CONSUMO (kWh) |
|--------------------------|--------------|---------------|
| 4                        | 27           | 108           |
| 14                       | 16           | 224           |
| 6                        | 11           | 66            |
| <b>TOTAL kWh POR DÍA</b> |              | <b>398</b>    |
| <b>TOTAL kWh POR MES</b> |              | <b>11,940</b> |

**CALCULOS**

**Ahorro por Demanda (al mes)**

$40 \text{ kW} - 27 \text{ kW} = 13 \text{ kW}$  de Demanda mensual

$13 \text{ kW} * 141.88 \text{ S/kW} = \$ 1,844.44$

**Ahorro por Consumo (al mes)**

$760 \text{ kWh} - 398 \text{ kWh} = 362 \text{ kWh}$  por día

10,860 kWh por mes

$10,860 \text{ kWh} * 0.894 \text{ S / kWh} = \$ 9,709.84$

**AHORRO TOTAL POR MES**

$\$ 1,844.44 + \$ 9,709.84 = \$ 11,554$

**4.- MONTO POR LA INVERSIÓN REALIZADA**

**COSTO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD**

**\$ 33,088**

**5.- TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN**

Tiempo de recuperación en años =  $\$ 33,088 / \$11,554$  por mes = 3 meses

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

# CONCLUSIONES



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES

El cambiar el actual esquema energético mundial tiene dos alternativas básicas: Desarrollar fuentes de energía alternas a las actuales ó ahorrar energía en todas sus formas.

Por un lado, observamos que al enfocarse a desarrollar fuentes alternas sus consecuencias no serían tan inmediatas como esperamos, ya que de algún modo se ha visto que estas son intermitentes y algo aleatorias, entonces, por otro lado, podríamos posibilitar las opciones de ahorro de energía con objetivos y metas relativamente inmediatas.

Promoviendo el uso racional y el uso eficiente de la energía, a través de programas demostrativos que permitan inducir y promover el ahorro de la energía eléctrica, con el fin de incidir en los hábitos de consumo eléctrico en la industria, comercios y población en general. Con tan solo realizar un diagnóstico energético podríamos precisar tanto los potenciales como las medidas que se requieren aplicar para gozar de los beneficios de ahorro de energía.

Al llevar a cabo una evaluación energética se pueden conseguir proyectos de diversa índole especialmente en industrias, siendo este el sector de mayor consumo eléctrico, es de esperarse que los motores (60 %), principal "motor" de las plantas productivas sean objeto de análisis a considerarse como factibles para ahorrar energía.

Para esto se recurre a evaluar los factores eléctricos que indican la forma en que se está empleando la energía eléctrica y las instalaciones eléctricas en las industrias o usuarios. Ya con un marco de referencia, se lleva a cabo una metodología para realizar lo que se llama diagnóstico energético, donde se presentan los procedimientos para realizar la caracterización y evaluación de las medidas de ahorro en Motores Eléctricos de Inducción, que va desde:

- o **Recopilación de información:** que permite determinar el estado actual de las instalaciones, así como los hábitos en el uso de la energía eléctrica (facturación, descripción de actividades, etc.)
- o **Determinación de la situación energética actual (en Motores de Inducción):** Condiciones actuales de operación, eficiencia del motor, de la carga, participación de las cargas y ubicación.
- o **Detección de los potenciales de ahorro:** Estos se pueden ubicar en la disminución de la Demanda y en el Consumo, ya sea reduciendo la Potencia demandada por las cargas enfocándose específicamente en la eficiencia, encontrando alternativas tecnológicas como uso de equipos de alta eficiencia, o en Reducir las horas de Operación de equipo, dirigidos a las prácticas operacionales y administrativas, debido a las malas costumbres de operación y a una mala distribución del empleo de equipos enfocándose al uso de controles automáticos.
- o **Evaluación de las diferentes alternativas de ahorro:** Como motores de alta eficiencia, sustitución de motores convencionales por motores de alta eficiencia, comparaciones entre ambos equipos, cambio de horario para la operación del motor, reubicación y uso de variadores de velocidad. Así como la inversión inicial, los costos de operación (ahorros de facturación), mantenimiento (personal operativo y reposición de piezas) y ahorros económicos. También como la determinación del consumo de energía del motor o motores al año, de los costos de operación y de la rentabilidad financiera.

Los beneficios son tales, así para el usuario como para las compañías suministradoras que se verían reflejados en los costos y en las instalaciones.

Ahorrar energía tiene objetivos importantes:

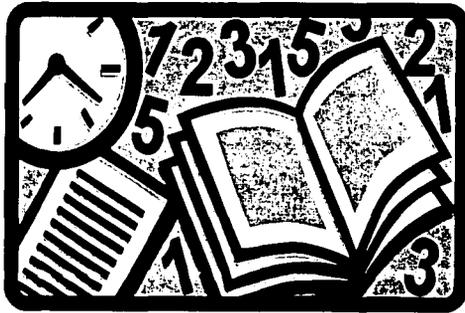
1. Eficiencia energética (transformación del mercado, utilización de equipos eficientes y costumbres de uso).
2. Reducción de picos
3. Desplazamientos de picos (tarifas horarias)
4. Llenado de valles
5. Construcción de cargas (planeación integral)

Se ha observado en el desarrollo del presente trabajo el funcionamiento de los motores de inducción, nos damos cuenta que estos motores forman parte de un tema cuya base científica para la comprensión de su comportamiento es amplia y sólida, por lo cual ha sido una tarea complicada el hecho de exponer este tema de una forma tal en la que se minimizan al máximo los términos rebuscados o se explican en palabras más sencillas. Esto nos lleva a pensar que el lector de este trabajo en busca de un entendimiento de estas máquinas puede tener un buen entendimiento general y básico del funcionamiento, construcción y tipo de motores de inducción. Para nosotros este hecho ha resultado muy gratificante, porque sirve a compañeros estudiantes de reciente contacto con el tema, para entrar a él de manera más simplificada y crearle de esta forma un gusto por el estudio de estas máquinas tan bondadosas y tan comunes. También esta hecho pensando en la gente de la empresa, ya que mediante esto se busca que la aplicación de las medidas de ahorro en los motores de inducción sean fácilmente comprensibles, pues la base queda explicada de manera breve y resumida.

Vimos pues que el cooperar con el ahorro de energía especialmente en motores de inducción tipo jaula de ardilla en la pequeña y mediana empresa, es muy factible, existen todos los factores necesarios para llevarla a cabo. Hablamos de la tecnología, existen mecanismos de financiamiento para implantar programas, vemos numéricamente que el ahorro de energía y económico es real, que el tiempo de retorno de la inversión no va más allá de 36 meses y sólo queda un largo camino por recorrer en el concientizar al empresario de las ventajas que a todo mundo representa el adoptar las medidas del uso eficiente y racional de energía. En este caso nosotros sólo buscamos aportar nuestro granito de arena.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# ANEXOS



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXOS

### ANEXO 1 RECOMENDACIONES GENERALES PARA AHORRAR ENERGÍA EN MOTORES DE INDUCCIÓN

❑ **ELEGIR CORRECTAMENTE LA POTENCIA DEL MOTOR.**

El rendimiento máximo se obtiene cuando éste opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal y cae bruscamente para cargas reducidas o cuando trabaja sobrecargado. Además, los motores de inducción operan con factor de potencia muy bajo cuando trabajan con cargas reducidas o en vacío.

❑ **AUMENTAR LA EFICIENCIA INTRÍNSECA DE LOS MOTORES.**

Con el empleo de motores ahorradores de energía -con alta eficiencia nominal- se logran ahorros que pueden alcanzar hasta 29 % en los motores menores de 5 HP y hasta 40% en motores de 7.5 HP o mayores, si se les compara con motores antiguos de potencia equivalente, sin un incremento considerable en la inversión inicial.

❑ **SELECCIONAR EL MOTOR DE ACUERDO CON SU CICLO DE TRABAJO.**

Operar un motor para servicio continuo, en accionamientos de operación intermitente, con frecuentes arranques y paros ocasiona una depreciación de las características de operación y eficiencia. Además, la elevación de temperatura producida puede causar daño irreversible a los aislamientos.

❑ **SELECCIONAR EL TIPO DE MOTOR DE ACUERDO CON EL AMBIENTE DE TRABAJO.**

Los motores abiertos son más sencillos y por lo tanto, menos costosos, además de que operan con mayor factor de potencia que los cerrados. Sin embargo, en condiciones adversas del medio los segundos son los indicados.

❑ **SELECCIONAR LA VELOCIDAD.**

Si la carga lo permite son preferibles los motores de alta velocidad, porque son más eficientes - en especial los de 4 y 8 polos- además de que trabajan con mejor factor de potencia. Cuando se tienen operaciones o procesos industriales en que se tienen claramente detectados dos regímenes de funcionamiento -como en algunas bombas y ventiladores- es recomendable el uso de motores de 2 velocidades fijas, en lugar de un motor de velocidad variable, ya que éste último presenta menores eficiencias.

❑ **USAR MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS EN LUGAR DE MONOFÁSICOS.**

En motores de potencia equivalente, la eficiencia de los motores trifásicos es de 3% a 5% mayor que en los monofásicos. Tienen además otras ventajas como: Requerir circuitos más simples, relación S/HP menor, corrientes de operación menores, menor vibración mecánica y factor de potencia notablemente mayor.

❑ **REEMPLAZAR LOS MOTORES ANTIGUOS.**

Los costos de operación y mantenimiento de motores viejos o de motores que por su uso se han degradado sus características nominales, casi siempre justifican su sustitución por motores nuevos normalizados y de alta eficiencia.

❑ **EFFECTUAR LA INSTALACIÓN Y MONTAJE DE ACUERDO CON LAS N.T.I.E.**

Las Normas Técnicas de Instalaciones Eléctricas y los instructivos de los fabricantes de motores son consulta obligada para asegurar el funcionamiento adecuado de los equipos y obtener así la máxima eficiencia nominal.

**□ ASEGURAR UNA BUENA CONEXIÓN A TIERRA.**

Una tierra defectuosa o la ausencia de ésta puede poner en peligro la vida de los operarios si se presenta un falla, además de ocasionar corrientes de fuga altamente productoras de pérdidas.

**□ EVITAR CONCENTRACIONES INNECESARIAS.**

Se debe evitar concentrar motores en lugares reducidos o mal ventilados. Un sobrecalentamiento del motor se traduce en una disminución de la eficiencia.

**□ VIGILAR LA CAÍDA DE TENSIÓN EN LOS ALIMENTADORES.**

Una tensión reducida en las terminales del motor acarrea, entre otros problemas, incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de la eficiencia. Las normas permiten una caída máxima del 3% (ó del 5% en la combinación del alimentador y el circuito derivado) pero es recomendable que no rebase el 1%.

**□ EQUILBRAR LA TENSIÓN EN BORNES DE LOS MOTORES.**

El desequilibrio entre fases no debe excederse en ningún caso del 5%, pero mientras menor sea el desbalanceo, mayor será la eficiencia de los motores.

**□ CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA.**

Compensar la energía reactiva demandada por los motores de C.A. más importantes o con mayor número de horas de funcionamiento, con lo que se reducen las pérdidas de energía y la caída de tensión en los conductores.

**□ EVITAR LA OPERCIÓN SIMULTÁNEA DE MOTORES GRANDES.**

Se debe evitar hasta donde sea posible la operación simultánea de motores, sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir la demanda máxima.

**□ USAR ARRANCADORES A TENSIÓN REDUCIDA.**

En motores que deban realizar un número elevado de arranques, el uso de arrancadores a tensión reducida evita calentamiento excesivo en los conductores y disminuye las pérdidas durante la aceleración.

**□ ESTUDIAR LA APLICACIÓN DE OTROS TIPOS DE ARRANCADORES.**

Cuando la carga impulsada no requiere un alto par de arranque es recomendable el uso de arrancadores estrella-delta. Son más económicos y consumen menos energía que los de tensión reducida, aunque tienen el inconveniente de que el par de arranque se reduce notablemente.

**□ USAR CONTROLADORES DE VELOCIDAD PARA APLICACIONES DE VELOCIDAD VARIABLE.**

Los controladores estáticos de velocidad permiten eliminar engranes, poleas, bandas y otros tipos de transmisión que producen pérdidas importantes al variar la velocidad y en general son aplicables en aquellos sistemas donde la carga se pueda variar con la velocidad, como en sistemas de bombeo o compresión.

**□ ADMINISTRAR LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN**

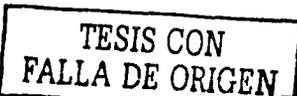
Conectar la ventilación solamente durante las bajas velocidades, en aquellos motores de velocidad ajustable y separada, provista por equipos auxiliares.

**□ PREFERIR EL ACOPLAMIENTO INDIVIDUAL.**

En accionamientos con grupos de motores se consigue más fácilmente que cada motor trabaje a máxima eficiencia si el acoplamiento es individual.

**□ PREFERIR EL ACOPLAMIENTO DIRECTO.**

Siempre que el accionamiento lo permita, es preferible acoplar la carga directamente al motor, ya que se reducen las pérdidas en el mecanismo de transmisión.



**□ USAR ACOPLAMIENTOS FLEXIBLES.**

En motores sometidos a un número elevado de arranques súbitos es recomendable usar acoplamientos flexibles para atenuar los efectos de una alineación defectuosa, reducir los esfuerzos de torsión en la flecha y disminuir las pérdidas por fricción.

**□ INSTALAR CONTROLES DE TEMPERATURA.**

En motores de gran capacidad es conveniente controlar la temperatura del aceite de lubricación de rodamientos, a fin de minimizar las pérdidas por fricción.

**□ MANTENER AJUSTADO EL EQUIPO DE PROTECCIÓN.**

Los equipos de protección evitan los daños mayores producidos por sobrecalentamiento o sobrecargas, evitando que operen con baja eficiencia.

**□ REVISAR PERIÓDICAMENTE LAS CONEXIONES.**

Las conexiones flojas o mal realizadas originan con frecuencia un mal funcionamiento del motor, además de ocasionar pérdidas por disipación de calor.

**□ VERIFICAR PERIÓDICAMENTE LA ALINEACIÓN.**

Una alineación defectuosa entre el motor y la carga impulsada incrementa las pérdidas por rozamiento y puede ocasionar daños al motor y a la carga.

**□ REEMPLAZAR EJES DAÑADOS.**

Si los ejes del motor o de la transmisión se han doblado o dañado, las pérdidas por fricción se incrementan y pueden causar daños severos a los cojinetes.

**□ DAR MANTENIMIENTO AL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.**

Mantener en buen estado las poleas, engranes, bandas y cadenas o corregir la instalación puede evitar daños al sistema, reduciendo una carga inútil para motor.

**□ MONITOREA PERIÓDICAMENTE LOS PARÁMETROS MÁS IMPORTANTES.**

Es recomendable verificar periódicamente las condiciones de operación y eficiencia a través de la medición de los parámetros más importantes, y tomar acciones correctivas cuando sean requeridas.

**□ EFECTUAR LIMPIEZA GENERAL RUTINARIAMENTE.**

Con el propósito de eliminar la suciedad, el polvo y objetos extraños, se debe efectuar una limpieza periódica a todos los componentes. La periodicidad depende de las horas de uso y de las condiciones de operación en general.

**□ EVITAR EL FUNCIONAMIENTO EN VACÍO.**

Cuando un motor eléctrico trabaja en vacío opera prácticamente con el factor de potencia más bajo y con eficiencia cero, porque en esas condiciones toma energía de la red pero no produce ningún trabajo útil en la flecha. Es una situación que debe detectarse y evitarse oportunamente.

**□ ESTABLECER UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO COMPLETO Y VIGILAR SU OBSERVANCIA.**

Es conveniente elaborar un programa de mantenimiento que considere acciones preventivas así como pruebas que permitan conocer las condiciones exactas en que se encuentra el equipo, con lo cual se pueden tomar las medidas correctivas pertinentes.

**□ MANTENER ACTUALIZADOS LOS MANUALES DE OPERACIÓN.**

Mantener actualizados los manuales de operación es una acción de operación que permite establecer instrucciones concretas para los operarios, con lo que los motores trabajan con mayor seguridad y eficiencia.

## ANEXO 2

### A) TIPOS DE AISLAMIENTO

| CLASES DE AISLAMIENTO | MATERIALES   | MEDIO AGLOMERANTE O IMPREGNANTE  | TEMPERATURA MÁXIMA DE EMPLEO * C |
|-----------------------|--|--|----------------------------------|
| A                     | Esmalte de acetato de poliuretano.<br>Aglomerado con celulosa.   | Melamina con formaldehído<br>Fenol con formaldehído  | 120 °C                           |
| B                     | Fibras de vidrio<br>Productos de mica<br>Esmalte de politeretatos<br>Films de policarbonato                  | Goma laca<br>Compuestos acetalicos<br>Resinas poliéster<br>Poliéster<br>Melamina y formaldehídos | 130 °C                           |
| C                     | Fibras de vidrio<br>Productos de mica<br>Fibras de poliamidas aromáticas<br>Films de poliéster-imida         | Resina epoxi.<br>Resina de poliuretano<br>Resina de silicona                                     | 155 °C                           |
| D                     | Fibras de vidrio<br>Films de poliamidas aromáticas y de polimidas<br>Polietratioroetileno<br>Cachos silicona | Resinas de silicona  | 180 °C                           |
| E                     | Porcelana, mica, cuarzo<br>Vidrio u otro material cerámico   | Resinas de silicona<br>Cuando sea preciso  | > 180 °C                         |

### B) FACTOR DE SERVICIO

| HP         | VELOCIDAD SINCRONA (RPM) |       |       |       |       |
|------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|            | 3600                     | 1800  | 1200  | 900   | 600   |
| 1          | 1.25                     | 1.15* | 1.15* | 1     | 1     |
| 1 ½ - 125  | 1.15*                    | 1.15* | 1.15* | 1.15* | 1.15* |
| 150        | 1.15*                    | 1.15* | 1.15* | 1.15* | 1     |
| 200        | 1.15*                    | 1.15* | 1.15* | 1.15* | 1     |
| Más de 200 | 1                        | 1     | 1     | 1     | 1     |

\*Estos factores se aplican solo a diseños de NEMA B y C

## ANEXO 3

## VALORES DE EFICIENCIA A PLENA CARGA PARA MOTORES ESTÁNDAR CERRADOS

| CAPACIDAD |       | 2 POLOS    |            | 4 POLOS    |            | 6 POLOS    |            | 8 POLOS    |            |
|-----------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| [kW]      | [CP]  | Efic. Nom. | Efic. Min. |
| 0.746     | 1.0   | 74.0       | 70.0       | 75.0       | 71.5       | 75.0       | 71.5       | 72.0       | 68.0       |
| 1.119     | 1.5   | 77.0       | 74.0       | 79.0       | 76.0       | 78.0       | 75.0       | 75.0       | 71.5       |
| 1.492     | 2.0   | 80.0       | 77.0       | 81.0       | 78.0       | 79.0       | 76.0       | 75.0       | 71.5       |
| 2.238     | 3.0   | 81.0       | 78.0       | 81.5       | 78.5       | 80.0       | 77.0       | 75.5       | 72.0       |
| 3.73      | 5.0   | 83.0       | 80.5       | 84.0       | 81.5       | 81.0       | 78.0       | 83.0       | 80.5       |
| 5.60      | 7.5   | 84.0       | 81.5       | 86.0       | 83.5       | 83.0       | 80.5       | 84.0       | 81.5       |
| 7.46      | 10.0  | 85.0       | 82.0       | 86.5       | 84.0       | 84.0       | 81.5       | 85.0       | 82.0       |
| 11.19     | 15.0  | 85.5       | 82.5       | 87.0       | 85.0       | 85.0       | 82.0       | 85.0       | 82.0       |
| 14.92     | 20.0  | 86.0       | 83.5       | 87.0       | 85.0       | 86.0       | 83.5       | 86.0       | 83.5       |
| 18.65     | 25.0  | 86.5       | 84.0       | 89.0       | 87.0       | 86.5       | 84.0       | 86.5       | 84.0       |
| 22.38     | 30.0  | 87.5       | 85.5       | 90.0       | 88.0       | 87.5       | 85.5       | 87.5       | 85.5       |
| 29.84     | 40.0  | 88.0       | 86.0       | 90.0       | 88.0       | 88.0       | 86.0       | 88.0       | 86.0       |
| 37.30     | 50.0  | 88.0       | 86.0       | 91.0       | 89.5       | 88.5       | 86.5       | 89.0       | 87.0       |
| 44.76     | 60.0  | 89.0       | 87.0       | 91.5       | 90.0       | 89.0       | 87.0       | 89.0       | 87.0       |
| 55.95     | 75.0  | 89.5       | 87.5       | 91.5       | 90.0       | 90.0       | 88.0       | 89.0       | 87.0       |
| 74.60     | 100.0 | 90.0       | 88.0       | 92.0       | 90.5       | 90.0       | 88.0       | 90.0       | 88.0       |
| 93.25     | 125.0 | 90.5       | 89.0       | 92.0       | 90.5       | 90.5       | 89.0       | 91.0       | 89.5       |
| 111.9     | 150.0 | 90.5       | 89.0       | 92.5       | 91.0       | 91.0       | 89.5       | 91.5       | 90.0       |
| 149.2     | 200.0 | 91.5       | 90.0       | 93.0       | 91.5       | 92.0       | 90.5       | 92.0       | 90.5       |

1) CP es caballo de potencia y su equivalente es de 1 CP = 0.746 kW

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO 4**

**VALORES DE EFICIENCIA A PLENA CARGA PARA MOTORES ESTÁNDAR ABIERTOS**

| CAPACIDAD |       | 2 POLOS   |           | 4 POLOS   |           | 6 POLOS   |           | 8 POLOS   |           |
|-----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| [kW]      | [CP]  | Efic. Nom | Efic. Min |
| 0.746     | 1.0   | 72.0      | 68.0      | 72.0      | 68.0      | 72.0      | 68.0      | 72.0      | 68.0      |
| 1.119     | 1.5   | 72.0      | 68.0      | 74.0      | 70.0      | 74.0      | 70.0      | 74.0      | 70.0      |
| 1.492     | 2.0   | 74.0      | 70.0      | 75.0      | 71.5      | 75.0      | 71.5      | 75.0      | 71.5      |
| 2.238     | 3.0   | 80.0      | 77.0      | 81.0      | 78.0      | 80.0      | 77.0      | 78.0      | 75.0      |
| 3.73      | 5.0   | 80.5      | 77.5      | 81.5      | 78.5      | 80.5      | 77.5      | 80.0      | 77.0      |
| 5.60      | 7.5   | 81.0      | 78.0      | 82.0      | 79.5      | 81.5      | 78.5      | 81.5      | 78.5      |
| 7.46      | 10.0  | 82.0      | 79.5      | 83.0      | 80.5      | 82.0      | 79.5      | 83.0      | 80.5      |
| 11.19     | 15.0  | 83.5      | 81.0      | 83.5      | 81.0      | 83.5      | 81.0      | 83.5      | 81.0      |
| 14.92     | 20.0  | 84.0      | 81.5      | 84.0      | 81.5      | 84.0      | 81.5      | 84.0      | 81.5      |
| 18.65     | 25.0  | 86.0      | 83.5      | 86.0      | 83.5      | 86.0      | 83.5      | 86.0      | 83.5      |
| 22.38     | 30.0  | 87.0      | 85.0      | 88.0      | 86.0      | 87.0      | 85.0      | 87.0      | 85.0      |
| 29.84     | 40.0  | 88.0      | 86.0      | 89.0      | 87.0      | 88.0      | 86.0      | 88.0      | 86.0      |
| 37.30     | 50.0  | 89.0      | 87.0      | 89.5      | 87.5      | 89.0      | 87.0      | 89.0      | 87.0      |
| 44.76     | 60.0  | 90.0      | 88.0      | 90.0      | 88.0      | 90.0      | 88.0      | 90.0      | 88.0      |
| 55.95     | 75.0  | 90.0      | 88.0      | 90.5      | 89.0      | 90.0      | 88.0      | 90.0      | 88.0      |
| 74.60     | 100.0 | 90.0      | 88.0      | 91.0      | 89.5      | 90.0      | 88.0      | 90.0      | 88.0      |
| 93.25     | 125.0 | 91.0      | 89.5      | 92.0      | 90.5      | 91.0      | 89.5      | 91.0      | 89.5      |
| 111.9     | 150.0 | 91.0      | 89.5      | 92.5      | 91.0      | 91.0      | 89.5      | 91.0      | 89.5      |
| 149.2     | 200.0 | 91.5      | 90.0      | 93.0      | 91.5      | 92.0      | 90.5      | 92.0      | 90.5      |

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

## ANEXO 5

## ANÁLISIS DE COSTOS Y OPERACIÓN DE MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS

| 1. Información general   |         |
|--|---------|
| Colocación / Ubicación   |         |
| Que tipo de equipo está accionado por el motor   |         |
| Carga por energía  | \$/ KWh |
| Carga por potencia   | \$/ KW  |
| Periodo de operación anual   | hrs     |
| 2. Datos de placa  |         |
| Marca / Modelo   |         |
| Número de serie  |         |
| Número de fases  |         |
| Voltaje nominal  | volts   |
| Potencia Nominal   | HP      |
| Tipo de rotor  |         |
| Velocidad sincrona   | rpm     |
| Tamaño de armazón  |         |
| Clase de par (NEMA)  |         |
| Clase de aislamiento   |         |
| Elevación de temperatura   | °C      |
| Corriente a plena carga  | amp     |
| Velocidad a plena carga  | rpm     |
| 3. Datos Medidos   |         |
| Voltaje en bornes  |         |
| Con un voltímetro  | volts   |
| Corriente de línea   |         |
| Con un amperímetro   | amp     |
| Potencia de entrada  |         |
| Con un wáttmetro   | KW      |
| Velocidad de operación   |         |
| Con un tacómetro   | rpm     |
| 4. Valores Calculados  |         |
| Deslizamiento a plena carga  |         |
| Velocidad sincrona - Velocidad nominal   | rpm     |
| Deslizamiento de operación   |         |
| Velocidad sincrona - Velocidad operación   | rpm     |
| Factor de carga  |         |
| (Deslizamiento de operación / deslizamiento a plena carga) % 100                           | %       |
| Potencia de salida   |         |
| Potencia de placa * factor de carga  | HP      |
| KVA de entrada   |         |
| Voltaje en bornes * corriente de línea * 0.001732  | KVA     |
| Factor de potencia   |         |
| (KW / KVA) * 100   | %       |
| Eficiencia de operación  |         |
| [(Potencia de salida * 0.746) / Potencia de entrada]*100                                   | %       |
| Costo anual de energía   |         |
| Potencia de entrada * Horas de operación anual * costo de la energía                       | \$      |
| Costo Anual de demanda   |         |
| Costo de demanda * número de meses que el motor opera durante el periodo de demanda máxima | \$      |
| Costo de operación anual   |         |
| Costo anual de energía + Costo anual de demanda  | \$      |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 6

## EFICIENCIAS PROMEDIO PARA MOTORES ESTÁNDAR Y DE ALTA EFICIENCIA

| Potencia Nominal (hp) | Velocidad (rpm) | Carcaza | Tipo de Motor   | Eficiencia a Diferentes de Carga |       |       |       | Precio de Lista (\$US) |
|-----------------------|-----------------|---------|-----------------|----------------------------------|-------|-------|-------|------------------------|
|                       |                 |         |                 | 100%                             | 75%   | 50%   | 25%   |                        |
| 5                     | 900             | Abierto | Alta Eficiencia | 87.50                            | 88.10 | 88.30 | 81.10 | 933                    |
| 5                     | 900             | Abierto | Estándar        | 82.67                            | 83.11 | 81.74 | 68.08 | 966                    |
| 5                     | 900             | Cerrado | Alta Eficiencia | 86.82                            | 87.64 | 86.26 | 81.14 | 1603                   |
| 5                     | 900             | Cerrado | Estándar        | 82.53                            | 82.44 | 80.07 | 69.18 | 1278                   |
| 5                     | 1200            | Abierto | Alta Eficiencia | 88.88                            | 89.38 | 88.32 | 83.15 | 714                    |
| 5                     | 1200            | Abierto | Estándar        | 83.75                            | 83.42 | 81.49 | 74.28 | 546                    |
| 5                     | 1200            | Cerrado | Alta Eficiencia | 89.07                            | 89.32 | 87.96 | 82.32 | 970                    |
| 5                     | 1200            | Cerrado | Estándar        | 83.50                            | 83.64 | 81.57 | 74.83 | 750                    |
| 5                     | 1800            | Abierto | Alta Eficiencia | 88.71                            | 89.27 | 88.78 | 83.81 | 412                    |
| 5                     | 1800            | Abierto | Estándar        | 84.13                            | 84.15 | 81.87 | 72.72 | 364                    |
| 5                     | 1800            | Cerrado | Alta Eficiencia | 89.13                            | 89.79 | 89.03 | 84.51 | 577                    |
| 5                     | 1800            | Cerrado | Estándar        | 85.01                            | 84.39 | 83.59 | 76.80 | 453                    |
| 5                     | 3600            | Abierto | Alta Eficiencia | 87.93                            | 88.39 | 87.89 | 83.31 | 402                    |
| 5                     | 3600            | Abierto | Estándar        | 81.29                            | 81.03 | 77.45 | 68.09 | 403                    |
| 5                     | 3600            | Cerrado | Alta Eficiencia | 88.70                            | 89.43 | 88.88 | 84.77 | 632                    |
| 5                     | 3600            | Cerrado | Estándar        | 83.68                            | 83.49 | 80.67 | 71.84 | 478                    |
| 7.5                   | 900             | Abierto | Alta Eficiencia | 88.50                            | 89.77 | 89.07 | 83.70 | 0                      |
| 7.5                   | 900             | Abierto | Estándar        | 84.64                            | 85.61 | 84.43 | 73.15 | 1203                   |
| 7.5                   | 900             | Cerrado | Alta Eficiencia | 87.37                            | 88.53 | 87.64 | 82.24 | 1585                   |
| 7.5                   | 900             | Cerrado | Estándar        | 83.71                            | 84.41 | 82.02 | 73.08 | 1625                   |
| 7.5                   | 1200            | Abierto | Alta Eficiencia | 90.23                            | 90.45 | 89.09 | 83.66 | 896                    |
| 7.5                   | 1200            | Abierto | Estándar        | 85.34                            | 85.33 | 83.16 | 76.47 | 749                    |
| 7.5                   | 1200            | Cerrado | Alta Eficiencia | 90.64                            | 91.00 | 90.15 | 84.81 | 1336                   |
| 7.5                   | 1200            | Cerrado | Estándar        | 85.67                            | 86.18 | 85.41 | 79.08 | 978                    |
| 7.5                   | 1800            | Abierto | Alta Eficiencia | 90.35                            | 90.96 | 90.08 | 84.82 | 579                    |
| 7.5                   | 1800            | Abierto | Estándar        | 85.60                            | 85.86 | 83.66 | 76.87 | 470                    |
| 7.5                   | 1800            | Cerrado | Alta Eficiencia | 90.78                            | 91.03 | 90.18 | 85.40 | 780                    |
| 7.5                   | 1800            | Cerrado | Estándar        | 86.53                            | 86.34 | 84.53 | 77.15 | 591                    |
| 7.5                   | 3600            | Abierto | Alta Eficiencia | 88.87                            | 89.83 | 89.75 | 86.63 | 559                    |
| 7.5                   | 3600            | Abierto | Estándar        | 83.93                            | 84.52 | 83.77 | 78.52 | 457                    |
| 7.5                   | 3600            | Cerrado | Alta Eficiencia | 89.96                            | 90.39 | 89.23 | 84.54 | 783                    |
| 7.5                   | 3600            | Cerrado | Estándar        | 84.17                            | 83.58 | 82.71 | 75.10 | 697                    |
| 10                    | 900             | Abierto | Alta Eficiencia | 89.78                            | 90.00 | 88.90 | 83.90 | 1408                   |
| 10                    | 900             | Abierto | Estándar        | 85.28                            | 86.02 | 85.24 | 78.70 | 1408                   |
| 10                    | 900             | Cerrado | Alta Eficiencia | 89.49                            | 89.91 | 88.79 | 83.79 | 2403                   |
| 10                    | 900             | Cerrado | Estándar        | 85.30                            | 85.83 | 85.10 | 77.80 | 2105                   |
| 10                    | 1200            | Abierto | Alta Eficiencia | 91.61                            | 91.59 | 90.96 | 85.67 | 1003                   |
| 10                    | 1200            | Abierto | Estándar        | 87.03                            | 87.16 | 85.47 | 79.03 | 872                    |
| 10                    | 1200            | Cerrado | Alta Eficiencia | 90.87                            | 91.45 | 90.88 | 86.28 | 1588                   |
| 10                    | 1200            | Cerrado | Estándar        | 86.51                            | 86.89 | 85.81 | 79.57 | 1258                   |
| 10                    | 1800            | Abierto | Alta Eficiencia | 90.76                            | 91.26 | 90.77 | 86.30 | 696                    |
| 10                    | 1800            | Abierto | Estándar        | 86.34                            | 86.93 | 85.83 | 79.13 | 560                    |
| 10                    | 1800            | Cerrado | Alta Eficiencia | 90.86                            | 91.52 | 90.84 | 86.50 | 919                    |
| 10                    | 1800            | Cerrado | Estándar        | 87.30                            | 87.60 | 86.21 | 80.46 | 679                    |
| 10                    | 3600            | Abierto | Alta Eficiencia | 89.93                            | 90.64 | 90.03 | 86.06 | 659                    |
| 10                    | 3600            | Abierto | Estándar        | 85.27                            | 85.56 | 83.99 | 76.93 | 584                    |
| 10                    | 3600            | Cerrado | Alta Eficiencia | 90.54                            | 91.18 | 90.33 | 86.66 | 882                    |
| 10                    | 3600            | Cerrado | Estándar        | 85.50                            | 85.56 | 83.84 | 76.77 | 784                    |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO 6. Eficiencias Promedio para Motores Estándar y de Alta Eficiencia  
(Continuación)**

| Potencia Nominal<br>(hp) | Velocidad<br>(rpm) | Carcaza | Tipo de Motor   | Eficiencia a Diferentes de Carga |       |       |       | Precio de Lista<br>(\$US) |
|--------------------------|--------------------|---------|-----------------|----------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|
|                          |                    |         |                 | 100%                             | 75%   | 50%   | 25%   |                           |
| 15                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 89.78                            | 90.76 | 89.98 | 86.70 | 1850                      |
| 15                       | 900                | Abierto | Estándar        | 86.83                            | 87.65 | 87.18 | 79.68 | 1850                      |
| 15                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 89.92                            | 90.44 | 89.61 | 86.49 | 3109                      |
| 15                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 86.28                            | 87.24 | 86.42 | 79.93 | 2842                      |
| 15                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 91.64                            | 92.50 | 91.58 | 89.08 | 1441                      |
| 15                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 88.85                            | 87.74 | 85.83 | 85.12 | 1127                      |
| 15                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 91.43                            | 91.93 | 91.37 | 87.37 | 2093                      |
| 15                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 87.77                            | 87.83 | 86.73 | 80.65 | 1718                      |
| 15                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 92.04                            | 92.46 | 91.92 | 87.24 | 915                       |
| 15                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 88.46                            | 88.90 | 88.14 | 81.75 | 785                       |
| 15                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 92.13                            | 92.42 | 91.61 | 87.46 | 1278                      |
| 15                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 88.38                            | 88.55 | 87.52 | 81.48 | 1039                      |
| 15                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 90.54                            | 91.33 | 91.23 | 89.11 | 868                       |
| 15                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 86.40                            | 87.02 | 86.25 | 81.76 | 728                       |
| 15                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 91.09                            | 91.48 | 90.58 | 85.87 | 1243                      |
| 15                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 86.85                            | 86.52 | 84.79 | 77.25 | 930                       |
| 20                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 90.20                            | 91.50 | 90.98 | 86.30 | 2229                      |
| 20                       | 900                | Abierto | Estándar        | 87.70                            | 88.56 | 87.74 | 82.73 | 2229                      |
| 20                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 90.39                            | 90.93 | 90.28 | 85.75 | 3690                      |
| 20                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 88.00                            | 89.08 | 88.23 | 82.80 | 3214                      |
| 20                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 92.10                            | 92.86 | 92.62 | 89.23 | 1788                      |
| 20                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 87.33                            | 88.22 | 87.56 | 83.22 | 1397                      |
| 20                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 91.60                            | 92.13 | 91.73 | 88.42 | 2566                      |
| 20                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 88.58                            | 89.31 | 88.52 | 83.65 | 2104                      |
| 20                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 92.33                            | 92.67 | 92.26 | 88.27 | 1076                      |
| 20                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 88.43                            | 88.95 | 88.00 | 82.21 | 954                       |
| 20                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 92.39                            | 93.18 | 92.70 | 89.36 | 1527                      |
| 20                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 88.90                            | 89.61 | 89.03 | 84.18 | 1249                      |
| 20                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 91.50                            | 91.95 | 91.28 | 87.10 | 1043                      |
| 20                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 87.63                            | 87.98 | 86.81 | 80.82 | 930                       |
| 20                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 91.35                            | 92.08 | 91.89 | 88.00 | 1545                      |
| 20                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 88.01                            | 88.01 | 86.57 | 80.04 | 1153                      |
| 25                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 90.20                            | 91.56 | 91.06 | 86.80 | 2640                      |
| 25                       | 900                | Abierto | Estándar        | 88.74                            | 89.04 | 88.80 | 83.23 | 2640                      |
| 25                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 90.19                            | 90.91 | 90.33 | 86.29 | 4388                      |
| 25                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 88.70                            | 89.00 | 88.80 | 83.00 | 3500                      |
| 25                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 92.92                            | 93.71 | 93.43 | 90.84 | 2135                      |
| 25                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 89.49                            | 89.79 | 89.10 | 84.59 | 1616                      |
| 25                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 92.83                            | 93.34 | 93.06 | 90.18 | 3171                      |
| 25                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 89.88                            | 90.36 | 89.41 | 83.82 | 2461                      |
| 25                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 93.01                            | 93.62 | 93.33 | 90.10 | 1406                      |
| 25                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 89.30                            | 90.11 | 89.70 | 85.89 | 1075                      |
| 25                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93.21                            | 93.49 | 92.96 | 89.58 | 1905                      |
| 25                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 90.17                            | 90.29 | 89.25 | 83.96 | 1606                      |
| 25                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 92.22                            | 92.60 | 92.28 | 88.58 | 1283                      |
| 25                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 88.42                            | 89.30 | 88.94 | 84.56 | 1013                      |
| 25                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 92.00                            | 92.37 | 91.64 | 87.18 | 1913                      |
| 25                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 88.09                            | 88.00 | 86.01 | 79.62 | 1495                      |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ANEXO 6. Eficiencias Promedio para Motores Estándar y de Alta Eficiencia  
(Continuación)**

| Potencia Nominal<br>(hp) | Velocidad<br>(rpm) | Carcasa | Tipo de Motor   | Eficiencia a Diferentes de Carga |       |       |        | Precio de Lista<br>(\$US) |
|--------------------------|--------------------|---------|-----------------|----------------------------------|-------|-------|--------|---------------------------|
|                          |                    |         |                 | 100%                             | 75%   | 50%   | 25%    |                           |
| 30                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 91 00                            | 91 70 | 91 30 | 87 80  | 2694                      |
| 30                       | 900                | Abierto | Estándar        | 89 65                            | 90 40 | 90 00 | 85 03  | 2694                      |
| 30                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 91 73                            | 92 17 | 91 42 | 87 75  | 5659                      |
| 30                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 89 32                            | 89 98 | 89 25 | 84 54  | 4229                      |
| 30                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 93 25                            | 93 86 | 93 63 | 91 09  | 2389                      |
| 30                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 89 46                            | 89 95 | 88 85 | 85 4 1 | 1886                      |
| 30                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 92 84                            | 93 54 | 93 30 | 90 92  | 3670                      |
| 30                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 90 26                            | 90 51 | 89 31 | 84 89  | 2829                      |
| 30                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 93 28                            | 93 81 | 93 66 | 91 71  | 1569                      |
| 30                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 89 20                            | 90 34 | 90 29 | 86 48  | 1269                      |
| 30                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93 36                            | 93 76 | 93 44 | 91 06  | 2251                      |
| 30                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 90 34                            | 90 61 | 89 98 | 86 37  | 1710                      |
| 30                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 92 72                            | 93 30 | 92 49 | 88 86  | 1533                      |
| 30                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 87 69                            | 88 82 | 88 83 | 83 63  | 1282                      |
| 30                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 92 21                            | 92 84 | 92 28 | 88 91  | 2195                      |
| 30                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 89 21                            | 89 27 | 87 58 | 81 39  | 1684                      |
| 40                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 91 70                            | 92 40 | 92 10 | 88 80  | 3706                      |
| 40                       | 900                | Abierto | Estándar        | 89 78                            | 90 68 | 90 38 | 85 25  | 3709                      |
| 40                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 91 86                            | 92 58 | 92 26 | 88 70  | 6935                      |
| 40                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 89 86                            | 90 60 | 90 24 | 85 10  | 5206                      |
| 40                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 94 11                            | 94 55 | 94 17 | 91 66  | 3499                      |
| 40                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 90 91                            | 91 06 | 90 35 | 85 46  | 2501                      |
| 40                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93 87                            | 94 29 | 93 93 | 90 80  | 4915                      |
| 40                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 91 11                            | 91 23 | 90 34 | 85 51  | 3736                      |
| 40                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 93 82                            | 94 48 | 94 15 | 92 06  | 1918                      |
| 40                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 90 17                            | 90 51 | 89 81 | 85 29  | 1593                      |
| 40                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93 96                            | 94 35 | 93 90 | 91 36  | 2906                      |
| 40                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 91 18                            | 91 29 | 89 85 | 84 88  | 2470                      |
| 40                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 93 24                            | 93 72 | 93 35 | 89 82  | 2034                      |
| 40                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 88 53                            | 89 26 | 89 58 | 85 67  | 1701                      |
| 40                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93 01                            | 93 24 | 92 36 | 88 10  | 2885                      |
| 40                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 89 30                            | 88 92 | 86 84 | 79 79  | 2282                      |
| 50                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 91 70                            | 92 50 | 92 30 | 88 00  | 4419                      |
| 50                       | 900                | Abierto | Estándar        | 90 28                            | 91 30 | 90 22 | 87 13  | 4582                      |
| 50                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 92 44                            | 92 88 | 92 31 | 88 03  | 8677                      |
| 50                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 90 72                            | 91 27 | 90 37 | 87 20  | 6447                      |
| 50                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 94 16                            | 94 68 | 94 39 | 91 93  | 4153                      |
| 50                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 91 21                            | 91 37 | 90 93 | 86 83  | 3095                      |
| 50                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93 85                            | 94 29 | 94 01 | 91 22  | 5814                      |
| 50                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 91 50                            | 91 87 | 91 26 | 86 54  | 4147                      |
| 50                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 93 89                            | 94 53 | 94 36 | 92 23  | 2250                      |
| 50                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 90 65                            | 91 29 | 90 85 | 87 04  | 1771                      |
| 50                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93 99                            | 94 42 | 94 27 | 91 78  | 3549                      |
| 50                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 91 62                            | 92 01 | 91 08 | 86 62  | 2970                      |
| 50                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 93 37                            | 93 85 | 92 94 | 89 53  | 2421                      |
| 50                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 89 80                            | 90 29 | 89 13 | 85 87  | 2638                      |
| 50                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93 39                            | 93 67 | 93 07 | 89 84  | 3767                      |
| 50                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 90 24                            | 90 12 | 88 74 | 81 80  | 2827                      |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ANEXO 6. Eficiencias Promedio para Motores Estándar y de Alta Eficiencia  
(Continuación)**

| Potencia Nominal<br>(hp) | Velocidad<br>(rpm) | Carcaza | Tipo de Motor   | Eficiencia a Diferentes de Carga |       |       |       | Precio de Lista<br>(\$US) |
|--------------------------|--------------------|---------|-----------------|----------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|
|                          |                    |         |                 | 100%                             | 75%   | 50%   | 25%   |                           |
| 60                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 92.40                            | 92.90 | 92.60 | 89.90 | 5123                      |
| 60                       | 900                | Abierto | Estándar        | 90.55                            | 91.03 | 90.33 | 86.45 | 5123                      |
| 60                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 92.48                            | 92.79 | 92.07 | 89.77 | 5123                      |
| 60                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 91.03                            | 91.80 | 91.28 | 86.95 | 7133                      |
| 60                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.65                            | 95.07 | 94.78 | 92.53 | 4898                      |
| 60                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 91.58                            | 92.00 | 91.21 | 87.23 | 3741                      |
| 60                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.30                            | 94.61 | 94.12 | 91.33 | 6641                      |
| 60                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 91.05                            | 92.00 | 90.91 | 86.08 | 5168                      |
| 60                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.47                            | 94.96 | 94.62 | 92.65 | 2738                      |
| 60                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 91.58                            | 91.92 | 91.11 | 86.46 | 2321                      |
| 60                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.52                            | 94.86 | 94.50 | 91.48 | 5143                      |
| 60                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 91.98                            | 92.09 | 91.02 | 85.59 | 4200                      |
| 80                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 93.74                            | 94.23 | 93.76 | 90.50 | 2836                      |
| 80                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 90.49                            | 90.86 | 90.69 | 87.71 | 2236                      |
| 80                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93.63                            | 94.00 | 93.23 | 89.36 | 5024                      |
| 80                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 90.99                            | 90.68 | 89.01 | 81.33 | 3996                      |
| 75                       | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 93.50                            | 93.50 | 92.80 | 91.00 | 6136                      |
| 75                       | 900                | Abierto | Estándar        | 91.98                            | 92.54 | 92.04 | 87.60 | 6136                      |
| 75                       | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 93.55                            | 93.46 | 92.78 | 91.07 | 12386                     |
| 75                       | 900                | Cerrado | Estándar        | 91.70                            | 92.30 | 92.00 | 87.50 | 9387                      |
| 75                       | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.69                            | 95.24 | 95.01 | 92.98 | 5624                      |
| 75                       | 1200               | Abierto | Estándar        | 91.84                            | 92.21 | 91.64 | 88.08 | 4102                      |
| 75                       | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.42                            | 94.76 | 94.33 | 91.88 | 7896                      |
| 75                       | 1200               | Cerrado | Estándar        | 92.44                            | 92.24 | 91.34 | 86.97 | 5692                      |
| 75                       | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.67                            | 95.17 | 94.88 | 92.83 | 3387                      |
| 75                       | 1800               | Abierto | Estándar        | 92.35                            | 92.59 | 91.97 | 87.80 | 2930                      |
| 75                       | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.91                            | 95.11 | 94.77 | 92.54 | 6412                      |
| 75                       | 1800               | Cerrado | Estándar        | 92.57                            | 92.48 | 91.29 | 86.49 | 5081                      |
| 75                       | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.24                            | 94.59 | 94.05 | 91.35 | 3782                      |
| 75                       | 3600               | Abierto | Estándar        | 90.94                            | 91.34 | 90.95 | 85.79 | 3088                      |
| 75                       | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 93.98                            | 94.14 | 93.55 | 90.32 | 6245                      |
| 75                       | 3600               | Cerrado | Estándar        | 91.45                            | 91.32 | 89.81 | 82.97 | 4932                      |
| 100                      | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 92.80                            | 94.20 | 93.90 | 91.30 | 7760                      |
| 100                      | 900                | Abierto | Estándar        | 92.12                            | 92.20 | 91.58 | 88.10 | 7760                      |
| 100                      | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 93.66                            | 94.23 | 93.87 | 91.25 | 18198                     |
| 100                      | 900                | Cerrado | Estándar        | 91.20                            | 92.35 | 91.90 | 88.30 | 11860                     |
| 100                      | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.04                            | 95.12 | 94.03 | 92.59 | 6604                      |
| 100                      | 1200               | Abierto | Estándar        | 92.60                            | 92.92 | 92.02 | 87.40 | 5163                      |
| 100                      | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.90                            | 95.08 | 94.54 | 92.02 | 10466                     |
| 100                      | 1200               | Cerrado | Estándar        | 92.66                            | 92.62 | 91.27 | 86.87 | 7898                      |
| 100                      | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 95.07                            | 95.69 | 95.41 | 93.72 | 4205                      |
| 100                      | 1800               | Abierto | Estándar        | 92.75                            | 93.12 | 92.39 | 89.24 | 3521                      |
| 100                      | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.13                            | 95.42 | 94.66 | 92.54 | 8043                      |
| 100                      | 1800               | Cerrado | Estándar        | 92.76                            | 92.39 | 90.98 | 85.19 | 5629                      |
| 100                      | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.33                            | 94.76 | 94.34 | 91.49 | 4561                      |
| 100                      | 3600               | Abierto | Estándar        | 90.86                            | 91.70 | 91.78 | 88.81 | 3788                      |
| 100                      | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.40                            | 94.40 | 93.64 | 88.95 | 8344                      |
| 100                      | 3600               | Cerrado | Estándar        | 92.09                            | 91.74 | 90.19 | 84.00 | 6401                      |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ANEXO 6. Eficiencias Promedio para Motores Estándar y de Alta Eficiencia  
(Continuación)**

| Potencia Nominal<br>(hp) | Velocidad<br>(rpm) | Carcaza | Tipo de Motor   | Eficiencia a Diferentes de Carga |       |       |       | Precio de Lista<br>(\$/US) |
|--------------------------|--------------------|---------|-----------------|----------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------|
|                          |                    |         |                 | 100%                             | 75%   | 50%   | 25%   |                            |
| 125                      | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 93.60                            | 93.80 | 93.70 | 92.80 | 9024                       |
| 125                      | 950                | Abierto | Estándar        | 92.60                            | 92.53 | 91.50 | 89.50 | 9024                       |
| 125                      | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.18                            | 94.43 | 93.91 | 92.95 | 17032                      |
| 125                      | 900                | Cerrado | Estándar        | 92.60                            | 92.50 | 91.50 | 89.50 | 0                          |
| 125                      | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.92                            | 95.30 | 94.78 | 93.10 | 7735                       |
| 125                      | 1200               | Abierto | Estándar        | 93.04                            | 93.23 | 92.20 | 87.87 | 8268                       |
| 125                      | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.07                            | 95.23 | 94.75 | 92.46 | 12694                      |
| 125                      | 1200               | Cerrado | Estándar        | 93.33                            | 93.38 | 92.43 | 88.33 | 9732                       |
| 125                      | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 95.05                            | 95.07 | 95.43 | 93.51 | 5020                       |
| 125                      | 1800               | Abierto | Estándar        | 93.21                            | 93.54 | 92.99 | 90.28 | 4212                       |
| 125                      | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.28                            | 95.36 | 94.68 | 91.28 | 10503                      |
| 125                      | 1800               | Cerrado | Estándar        | 92.69                            | 92.27 | 90.56 | 84.01 | 7818                       |
| 125                      | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.56                            | 95.09 | 94.67 | 92.37 | 5745                       |
| 125                      | 3600               | Abierto | Estándar        | 91.57                            | 92.20 | 91.73 | 88.85 | 2074                       |
| 125                      | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.98                            | 94.95 | 94.19 | 90.69 | 10819                      |
| 125                      | 3600               | Cerrado | Estándar        | 92.29                            | 92.05 | 90.42 | 82.54 | 8830                       |
| 150                      | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 94.10                            | 94.30 | 93.70 | 90.20 | 10181                      |
| 150                      | 900                | Abierto | Estándar        | 92.40                            | 92.00 | 90.70 | 87.20 | 10181                      |
| 150                      | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.40                            | 94.09 | 93.61 | 91.95 | 20054                      |
| 150                      | 900                | Cerrado | Estándar        | 93.00                            | 93.00 | 92.10 | 90.00 | 17000                      |
| 150                      | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 95.34                            | 95.56 | 95.16 | 93.20 | 8796                       |
| 150                      | 1200               | Abierto | Estándar        | 93.35                            | 93.64 | 92.76 | 89.70 | 6899                       |
| 150                      | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.63                            | 95.82 | 95.40 | 93.22 | 14354                      |
| 150                      | 1200               | Cerrado | Estándar        | 93.69                            | 94.24 | 93.27 | 91.17 | 10658                      |
| 150                      | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 95.53                            | 95.73 | 95.05 | 92.94 | 6937                       |
| 150                      | 1800               | Abierto | Estándar        | 93.37                            | 93.43 | 92.72 | 88.64 | 5822                       |
| 150                      | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.62                            | 95.70 | 95.17 | 93.09 | 12020                      |
| 150                      | 1800               | Cerrado | Estándar        | 93.55                            | 93.50 | 92.27 | 87.66 | 6778                       |
| 150                      | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 94.62                            | 95.21 | 94.76 | 92.88 | 7049                       |
| 150                      | 3600               | Abierto | Estándar        | 92.02                            | 91.99 | 92.27 | 90.30 | 6321                       |
| 150                      | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 94.98                            | 95.09 | 94.43 | 91.54 | 13068                      |
| 150                      | 3600               | Cerrado | Estándar        | 92.96                            | 92.52 | 91.24 | 85.56 | 10255                      |
| 200                      | 900                | Abierto | Alta Eficiencia | 95.10                            | 95.40 | 95.00 | 92.10 | 0                          |
| 200                      | 900                | Abierto | Estándar        | 93.00                            | 93.33 | 92.63 | 89.00 | 10355                      |
| 200                      | 900                | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.11                            | 95.42 | 94.98 | 92.10 | 24351                      |
| 200                      | 900                | Cerrado | Estándar        | 93.00                            | 93.30 | 92.60 | 89.00 | 16000                      |
| 200                      | 1200               | Abierto | Alta Eficiencia | 95.10                            | 95.68 | 95.48 | 93.03 | 11190                      |
| 200                      | 1200               | Abierto | Estándar        | 93.64                            | 94.04 | 93.26 | 91.50 | 8922                       |
| 200                      | 1200               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.48                            | 95.73 | 95.21 | 92.97 | 17143                      |
| 200                      | 1200               | Cerrado | Estándar        | 94.23                            | 93.90 | 92.33 | 90.50 | 14515                      |
| 200                      | 1800               | Abierto | Alta Eficiencia | 95.56                            | 96.01 | 95.39 | 94.24 | 8830                       |
| 200                      | 1800               | Abierto | Estándar        | 93.48                            | 93.82 | 93.65 | 90.76 | 7320                       |
| 200                      | 1800               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.78                            | 95.87 | 95.33 | 92.94 | 14581                      |
| 200                      | 1800               | Cerrado | Estándar        | 93.69                            | 93.93 | 92.38 | 87.70 | 10964                      |
| 200                      | 3600               | Abierto | Alta Eficiencia | 95.08                            | 95.26 | 94.61 | 92.44 | 10224                      |
| 200                      | 3600               | Abierto | Estándar        | 92.79                            | 93.07 | 92.43 | 88.27 | 8676                       |
| 200                      | 3600               | Cerrado | Alta Eficiencia | 95.46                            | 95.51 | 94.78 | 92.11 | 16485                      |
| 200                      | 3600               | Cerrado | Estándar        | 93.23                            | 92.71 | 91.20 | 83.77 | 13525                      |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## ANEXO 7

TABLA 6. VALORES DE EFICIENCIA NOMINAL A PLENA CARGA PARA MOTORES CERRADOS DE EFICIENCIA ESTÁNDAR

| Potencia Nominal (kW) | Potencia Nominal (hp) | 3600 (RPM)<br>2 polos | 1800 (RPM)<br>4 polos | 1200 (RPM)<br>6 polos | 900 (RPM)<br>8 polos |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 0.746                 | 1                     | 74.0%                 | 75.5%                 | 75.5%                 | 72.0%                |
| 1.119                 | 1.5                   | 77.0%                 | 80.0%                 | 78.5%                 | 75.5%                |
| 1.492                 | 2                     | 80.0%                 | 81.5%                 | 78.5%                 | 75.5%                |
| 2.238                 | 3                     | 81.5%                 | 81.5%                 | 80.0%                 | 75.5%                |
| 3.730                 | 5                     | 82.5%                 | 84.0%                 | 81.5%                 | 82.5%                |
| 5.595                 | 7.5                   | 84.0%                 | 86.5%                 | 82.5%                 | 84.0%                |
| 7.460                 | 10                    | 85.5%                 | 86.5%                 | 84.0%                 | 85.5%                |
| 11.19                 | 15                    | 85.5%                 | 87.5%                 | 85.5%                 | 85.5%                |
| 14.92                 | 20                    | 86.5%                 | 87.5%                 | 86.5%                 | 86.5%                |
| 18.65                 | 25                    | 86.5%                 | 89.5%                 | 86.5%                 | 86.5%                |
| 22.38                 | 30                    | 87.5%                 | 90.2%                 | 87.5%                 | 87.5%                |
| 29.84                 | 40                    | 88.5%                 | 90.2%                 | 88.5%                 | 88.5%                |
| 37.30                 | 50                    | 88.5%                 | 91.0%                 | 88.5%                 | 89.5%                |
| 44.76                 | 60                    | 89.5%                 | 91.7%                 | 89.5%                 | 89.5%                |
| 55.95                 | 75                    | 89.5%                 | 91.7%                 | 90.2%                 | 89.5%                |
| 74.60                 | 100                   | 90.2%                 | 92.4%                 | 90.2%                 | 90.2%                |
| 93.25                 | 125                   | 91.0%                 | 92.4%                 | 91.0%                 | 91.0%                |
| 111.9                 | 150                   | 91.0%                 | 92.4%                 | 91.0%                 | 91.7%                |
| 149.2                 | 200                   | 91.7%                 | 93.0%                 | 91.7%                 | 91.7%                |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

TABLA 7. VALORES DE EFICIENCIA NOMINAL A PLENA CARGA PARA MOTORES ABIERTOS DE EFICIENCIA ESTÁNDAR

| Potencia Nominal (kW) | Potencia Nominal (hp) | 3600 (RPM)<br>2 Polos | 1800 (RPM)<br>4 Polos | 1200 (RPM)<br>6 Polos | 900 (RPM)<br>8 Polos |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 0.746                 | 1                     | 72.0%                 | 72.0%                 | 72.0%                 | 72.0%                |
| 1.119                 | 1.5                   | 72.0%                 | 74.0%                 | 74.0%                 | 74.0%                |
| 1.492                 | 2                     | 74.0%                 | 75.5%                 | 75.5%                 | 75.5%                |
| 2.238                 | 3                     | 80.0%                 | 81.5%                 | 80.0%                 | 78.5%                |
| 3.730                 | 5                     | 80.0%                 | 81.5%                 | 80.0%                 | 80.0%                |
| 5.595                 | 7.5                   | 81.5%                 | 82.5%                 | 81.5%                 | 81.5%                |
| 7.460                 | 10                    | 82.5%                 | 82.5%                 | 82.5%                 | 82.5%                |
| 11.19                 | 15                    | 84.0%                 | 84.0%                 | 84.0%                 | 84.0%                |
| 14.92                 | 20                    | 84.0%                 | 84.0%                 | 84.0%                 | 84.0%                |
| 18.65                 | 25                    | 86.5%                 | 86.5%                 | 86.5%                 | 86.5%                |
| 22.38                 | 30                    | 87.5%                 | 88.5%                 | 87.5%                 | 87.5%                |
| 29.84                 | 40                    | 88.5%                 | 89.5%                 | 88.5%                 | 88.5%                |
| 37.30                 | 50                    | 89.5%                 | 89.5%                 | 89.5%                 | 89.5%                |
| 44.76                 | 60                    | 90.2%                 | 90.2%                 | 90.2%                 | 90.2%                |
| 55.95                 | 75                    | 90.2%                 | 90.2%                 | 90.2%                 | 90.2%                |
| 74.60                 | 100                   | 90.2%                 | 91.0%                 | 90.2%                 | 90.2%                |
| 93.25                 | 125                   | 91.0%                 | 92.4%                 | 91.0%                 | 91.0%                |
| 111.9                 | 150                   | 91.0%                 | 92.4%                 | 91.0%                 | 91.0%                |
| 149.2                 | 200                   | 91.7%                 | 93.0%                 | 91.7%                 | 91.7%                |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

TABLA 8. VALORES DE EFICIENCIA NOMINAL A PLENA CARGA PARA MOTORES CERRADOS DE ALTA EFICIENCIA

| Potencia Nominal (kW) | Potencia Nominal (hp) | 3600 (RPM) 2 polos | 1800 (RPM) 4 polos | 1200 (RPM) 6 polos | 900 (RPM) 8 polos |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 0.746                 | 1                     | 75.5%              | 82.5%              | 80.0%              | 74.0%             |
| 1.119                 | 1.5                   | 82.5%              | 84.0%              | 85.5%              | 77.0%             |
| 1.492                 | 2                     | 84.0%              | 84.0%              | 86.5%              | 82.5%             |
| 2.238                 | 3                     | 85.5%              | 87.5%              | 87.5%              | 84.0%             |
| 3.730                 | 5                     | 87.5%              | 87.5%              | 87.5%              | 85.5%             |
| 5.595                 | 7.5                   | 88.5%              | 89.5%              | 89.5%              | 85.5%             |
| 7.460                 | 10                    | 89.5%              | 89.5%              | 89.5%              | 88.5%             |
| 11.19                 | 15                    | 90.2%              | 91.0%              | 90.2%              | 88.5%             |
| 14.92                 | 20                    | 90.2%              | 91.0%              | 90.2%              | 89.5%             |
| 18.65                 | 25                    | 91.0%              | 92.4%              | 91.7%              | 89.5%             |
| 22.38                 | 30                    | 91.0%              | 92.4%              | 91.7%              | 91.0%             |
| 29.84                 | 40                    | 91.7%              | 93.0%              | 93.0%              | 91.0%             |
| 37.30                 | 50                    | 92.4%              | 93.0%              | 93.0%              | 91.7%             |
| 44.76                 | 60                    | 93.0%              | 93.6%              | 93.6%              | 91.7%             |
| 55.95                 | 75                    | 93.0%              | 94.1%              | 93.6%              | 93.0%             |
| 74.60                 | 100                   | 93.6%              | 94.5%              | 94.1%              | 93.0%             |
| 93.25                 | 125                   | 94.5%              | 94.5%              | 94.1%              | 93.6%             |
| 111.9                 | 150                   | 94.5%              | 95.0%              | 95.0%              | 93.6%             |
| 149.2                 | 200                   | 95.0%              | 95.0%              | 95.0%              | 94.1%             |

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

TABLA 9. VALORES DE EFICIENCIA NOMINAL A PLENA CARGA PARA MOTORES ABIERTOS DE ALTA EFICIENCIA

| Potencia Nominal (kW) | Potencia Nominal (hp) | 3600 (RPM)<br>2 polos | 1800 (RPM)<br>4 polos | 1200 (RPM)<br>6 polos | 900 (RPM)<br>8 polos |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 0.746                 | 1                     | ---                   | 82.5%                 | 80.0%                 | 74.0%                |
| 1.119                 | 1.5                   | 82.5%                 | 84.0%                 | 84.0%                 | 75.5%                |
| 1.492                 | 2                     | 84.0%                 | 84.0%                 | 85.5%                 | 85.5%                |
| 2.238                 | 3                     | 84.0%                 | 86.5%                 | 86.5%                 | 86.5%                |
| 3.73                  | 5                     | 85.5%                 | 87.5%                 | 87.5%                 | 87.5%                |
| 5.595                 | 7.5                   | 87.5%                 | 88.5%                 | 88.5%                 | 88.5%                |
| 7.46                  | 10                    | 88.5%                 | 89.5%                 | 90.2%                 | 89.5%                |
| 11.19                 | 15                    | 89.5%                 | 91.0%                 | 90.2%                 | 89.5%                |
| 14.92                 | 20                    | 90.2%                 | 91.0%                 | 91.0%                 | 90.2%                |
| 18.65                 | 25                    | 91.0%                 | 91.7%                 | 91.7%                 | 90.2%                |
| 22.38                 | 30                    | 91.0%                 | 92.4%                 | 92.4%                 | 91.0%                |
| 29.84                 | 40                    | 91.7%                 | 93.0%                 | 93.0%                 | 91.0%                |
| 37.3                  | 50                    | 92.4%                 | 93.0%                 | 93.0%                 | 91.7%                |
| 44.76                 | 60                    | 93.0%                 | 93.6%                 | 93.6%                 | 92.4%                |
| 55.95                 | 75                    | 93.0%                 | 94.1%                 | 93.6%                 | 93.6%                |
| 74.6                  | 100                   | 93.0%                 | 94.1%                 | 94.1%                 | 93.6%                |
| 93.25                 | 125                   | 93.6%                 | 94.5%                 | 94.1%                 | 93.6%                |
| 111.9                 | 150                   | 93.6%                 | 95.0%                 | 94.5%                 | 93.6%                |
| 149.2                 | 200                   | 94.5%                 | 95.0%                 | 94.5%                 | 93.6%                |

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## GLOSARIO

**A tierra:** Conexión conductora, intencionada o accidental, entre un circuito o equipo eléctrico y el terreno natural o algún cuerpo conductor que sirva como tal.

**Automático:** Auto-actuante, que opera por su propio mecanismo cuando se le acciona por medio de una influencia impersonal, por ejemplo un cambio de intensidad de corriente eléctrica, presión, temperatura o configuración mecánica (véase no-automático).

**Carga continua:** Aquella con la que se espera que la corriente eléctrica máxima continúe circulando durante tres horas o más.

**Carga no-lineal:** Una carga donde la forma de onda de la corriente eléctrica en estado estable no sigue la forma de onda de la tensión eléctrica aplicada.

**NOTA:** Ejemplos de cargas que pueden no ser lineales: equipo electrónico, alumbrado de descarga eléctrica/electrónica, sistemas de velocidad variable y similares.

**Centro de control de motores:** Conjunto de una o más secciones encerradas, que tienen barras conductoras comunes y que contienen principalmente unidades para el control de motores.

**Concavidad:** Depresión de una gráfica, abertura hacia arriba.

**Controlador:** Dispositivo o grupo de dispositivos para gobernar, de un modo predeterminado, la energía eléctrica suministrada al aparato al cual está conectado.

**Cople:** Terminal de acoplamiento entre dos elementos mecánicos.

**Eficiencia:** La eficiencia se define como la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada del motor.

Se expresa en porciento y se calcula con alguna de las siguientes relaciones:

(a)  $[\text{Potencia de salida} / \text{potencia de entrada}] \times 100,$

(b)  $[(\text{Potencia de entrada} - \text{pérdidas}) / \text{potencia de entrada}] \times 100,$

(c)  $[\text{Potencia de salida} / (\text{potencia de salida} + \text{pérdidas})] \times 100.$

**Eficiencia nominal:** Es el valor de la eficiencia manufacturado en la placa de datos del motor, seleccionado de la Columna A de la Tabla I(NOM-016), por el fabricante. Este valor no debe ser mayor que la eficiencia promedio de una población grande de motores del mismo diseño.

**Energizado(a):** Conectado(a) eléctricamente a una fuente de diferencia de potencial.

**Envolvente:** Recinto, recipiente o carcasa de un aparato, cerca o paredes que rodean una instalación para prevenir que las personas entren en contacto accidental con partes energizadas o para protección de los equipos contra daño físico.

**Equipo:** Término general que incluye dispositivos, aparatos electrodomésticos, luminarias, aparatos y productos similares utilizados como partes de, o en conexión con una instalación eléctrica.

**Equipo de utilización:** Equipo que transforma, con cierta eficiencia, la energía eléctrica en energía mecánica, química, calorífica, luminosa u otras.

**Factor de demanda:** Relación entre la demanda máxima de un sistema o parte de un sistema y la carga total conectada de un sistema o la parte del sistema bajo consideración.

**Factor de servicio:** Se define como la cantidad de sobrecarga permitida para un motor bajo ciertos límites de temperatura.

**Fuerza electromotriz:** Voltaje inducido en el rotor debido al campo magnético giratorio del estator.

**Fuerza contraelectromotriz:** El movimiento del campo magnético en el estator induce una fem en el rotor, lo cual a su vez provoca un campo magnético rotatorio que provocara una fuerza similar pero en el estator.

**Gabinete:** Envolvente diseñada para montaje superficial o empotrado, provista de un marco, montura o bastidor en el que se puede instalar una o varias puertas, en cuyo caso dichas partes deben ser oscilantes.

**Hermético al agua:** Construido para que la humedad no entre en la envolvente, en condiciones específicas de prueba.

**Hermético a la lluvia:** Construido o protegido de manera que no entre agua cuando se le expone a la lluvia batiente en condiciones específicas de prueba.

**Hermético al polvo:** Construido de modo que el polvo no entre en la envolvente en condiciones específicas de prueba.

**Interruptor automático:** Dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito ya sea por medios no automáticos y para abrir el circuito automáticamente a una sobrecorriente en condiciones predeterminadas, sin dañarse a sí mismo, cuando se aplica apropiadamente dentro de su valor nominal.

**Ajustable:** Indica que el interruptor automático puede regularse para cambiar el valor de corriente eléctrica a la cual dispara o el tiempo requerido para hacerlo, dentro de límites definidos.

**De disparo instantáneo:** Término calificador que indica que en la acción de disparo del interruptor automático no se ha introducido intencionalmente algún retardo.

**De retardo inverso:** Término calificador que indica que en la acción de disparo del interruptor automático se ha introducido intencionalmente un retardo que decrece a medida que la magnitud de la corriente eléctrica aumenta.

**Medio de desconexión:** Dispositivo o conjunto de dispositivos u otros medios por medio de los cuales los conductores de un circuito pueden ser desconectados de su fuente de alimentación.

**Motor abierto:** Es un motor que tiene aberturas para ventilación que permiten el paso del aire exterior de enfriamiento, sobre y a través del embobinado del motor.

**Motor cerrado:** Es un motor cuya armazón impide el intercambio libre de aire entre el interior y el exterior de éste, sin llegar a ser hermético. Dentro de esta clasificación se incluyen los motores a prueba de explosión.

**Motor común:** Es un motor de eficiencia estándar hasta ahora llamado motor estándar, muy pronto los motores de alta eficiencia serán motores estándar, de ahí la adopción del término.

**Motor de eficiencia normalizada:** Es aquel que tiene una eficiencia nominal igual o mayor que la indicada, según su tipo de enclaustramiento y número de polos.

**Motor de inducción:** Es un motor eléctrico en el cual solamente una parte, el rotor o el estator, se conecta a la fuente de energía y la otra trabaja por inducción electromagnética.

**Motor eléctrico:** Es una máquina rotatoria para convertir energía eléctrica en mecánica.

**Motor trifásico:** Es un motor que utiliza para su operación energía eléctrica de corriente alterna trifásica.

**Motor tipo jaula de ardilla:** Es un motor de inducción, en el cual los conductores del rotor son barras colocadas en las ranuras del núcleo secundario, que se conectan en circuito corto por medio de anillos en sus extremos semejando una jaula de ardilla.

**Pérdidas en el núcleo:** Son las debidas a las alternaciones del campo magnético en el material activo del estator y el rotor por efectos de histéresis y corrientes parásitas.

**Pérdidas indeterminadas:** Son la porción de las pérdidas que no se incluyen en la suma de las pérdidas por efecto Joule en el estator y en el rotor, las pérdidas en el núcleo, y las pérdidas por fricción y ventilación.

**Pérdidas por efecto Joule:** Son las debidas a la circulación de corriente eléctrica por los conductores del estator y rotor y se manifiestan en forma de calor.

**Pérdidas por fricción y ventilación:** Son las debidas a la oposición que presentan los dispositivos tales como ventiladores y rodamientos al movimiento mecánico.

**Pérdidas totales:** Son la diferencia de la potencia de entrada y la potencia de salida del motor.

**Permeabilidad:** Facilidad de un material para conducir flujo magnético

**Persona calificada.** Es aquella persona física cuyos conocimientos y facultades especiales para intervenir en la proyección, cálculo, construcción, operación o mantenimiento de una determinada instalación eléctrica han sido comprobados en términos de la legislación vigente o por medio de un procedimiento de evaluación de la conformidad bajo la responsabilidad del usuario o propietario de las instalaciones.

**Potencia de entrada:** Es la potencia eléctrica que el motor toma de la línea.

**Potencia de salida:** Es la potencia mecánica disponible en el eje del motor.

**Potencia nominal:** Es la potencia mecánica de salida indicada en la placa de datos del motor.

**PYMES:** Pequeñas y medianas empresas.

**Rectificación:** Es la conversión de una señal de corriente alterna en corriente directa.

**SCR:** Dispositivo electrónico de estado sólido, es un Rectificador controlado de silicio.

**Servicio:** Proporcionar una satisfacción de una demanda por parte de una empresa.

**Servicio continuo:** Funcionamiento con una carga prácticamente constante durante un periodo largo indefinido.

**Servicio por tiempo corto:** Funcionamiento con una carga prácticamente constante durante un periodo corto y específicamente definido.

**Servicio intermitente:** Funcionamiento por intervalos alternativos de (1) con carga y sin carga; (2) con carga y en reposo, o (3) con carga, sin carga y en reposo.

**Servicio periódico:** Funcionamiento intermitente en el que las condiciones de carga son regularmente recurrentes.

**Servicio variable:** Funcionamiento con cargas e intervalos de tiempo, que pueden estar sometidos a variaciones amplias.

**Sobrecarga:** Funcionamiento de un equipo excediendo su capacidad nominal, de plena carga, o de un conductor que excede su capacidad de conducción de corriente nominal, cuando tal funcionamiento, al persistir por suficiente tiempo puede causar daños o sobrecalentamiento peligroso. Una falla, tal como un cortocircuito o una falla a tierra, no es una sobrecarga (véase Sobrecorriente).

**Sobrecorriente:** Cualquier corriente eléctrica en exceso del valor nominal de los equipos o de la capacidad de conducción de corriente de un conductor. La sobrecorriente puede ser causada por una sobrecarga (véase definición de "sobrecarga"), un cortocircuito o una falla a tierra.

NOTA: Una corriente eléctrica en exceso de la nominal puede ser absorbida por determinados equipos y conductores si se presenta un conjunto de condiciones. Por eso, las reglas para protección contra sobrecorriente son específicas para cada situación en particular.

**Tensión eléctrica a tierra:** En los circuitos puestas a tierra, es la tensión eléctrica entre un conductor dado y aquel punto o el conductor del circuito que es puesto a tierra. En circuitos no-puestos a tierra es la mayor diferencia de potencial entre un conductor determinado y otro conductor de referencia del circuito.

**Tensión eléctrica (de un circuito):** Es la mayor diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos cualesquiera de la instalación. Es el mayor valor eficaz (raíz cuadrática media) de la diferencia de potencial entre dos conductores determinados.

NOTA: Algunos sistemas, como los trifásicos de cuatro hilos, monofásicos de tres hilos y de c.c. de tres hilos, pueden tener varios circuitos a diferentes tensiones eléctricas.

**Tensión eléctrica nominal.** Es el valor asignado a un sistema, parte de un sistema, un equipo o a cualquier otro elemento y al cual se refieren ciertas características de operación o comportamiento de éstos.

**Tensión eléctrica nominal del sistema.** Es el valor asignado a un sistema eléctrico. Como ejemplos de tensiones normalizadas, se tienen:

120/240 V; 220Y/127 V; 480Y/277 V; 480 V como valores preferentes

2400 V como de uso restringido

440 V como valor congelado

La tensión eléctrica nominal de un sistema es el valor cercano al nivel de tensión al cual opera normalmente el sistema. Debido a contingencias de operación, el sistema opera generalmente a niveles de tensión del orden de 10% por debajo de la tensión eléctrica nominal del sistema para la cual los componentes del sistema están diseñados (véase la Figura 110-4)

**Tensión eléctrica nominal de utilización.** Es el valor para determinados equipos de utilización del sistema eléctrico. Los valores de tensión eléctrica de utilización son:

En baja tensión: 115/230 V; 208Y/120 V; 460Y/265 y 460 V; como valores preferentes.

Para otros niveles de tensión eléctrica y para complementar la información referente a tensiones normalizadas, debe consultarse la Norma Mexicana correspondiente.

**Torque:** También llamado par mecánico.

**Tristor:** Dispositivo electrónico de estado sólido

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## BIBLIOGRAFÍA

- "CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELECTROMECAÁNICA"  
GOURISHANKAR, VEMBU  
MÉXICO 1990  
EDIT. ALFAOMEGA
- "GENERADORES, MOTORES Y TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS"  
AMADOR BARRÓN, PÉREZ VÍCTOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL  
MÉXICO 1992.
- "ELECTRICIDAD SIETE"  
MILEAF, HARRY  
EDIT. LIMUSA  
MÉXICO 1985
- "EL ABC DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS"  
MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA  
ENRÍQUEZ HARPER, GILBERTO  
EDIT. LIMUSA  
MÉXICO 1992
- "MÁQUINAS ELÉCTRICAS"  
CHAPMAN, STEPHEN J.  
EDIT. MC GRAW-HILL  
MÉXICO 1988
- "PRUEBAS DE EQUIPO ELÉCTRICO"  
AMADOR BARRÓN VÍCTOR PÉREZ  
EDIT. NORIEGA  
MÉXICO 1988
- "ENERGY EFFICIENT MOTOR SYSTEMS"  
STEVEN NADEL, et.al.  
AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY  
WASHINGTON, D.C. 1991
- CATALOGOS Y MANUALES DIVERSOS FABRICANTES:
  - BALDOR MOTORS AND DRIVES
  - ABB FREQUENCY CONVERTERS
  - I.E.M. MOTORES ELECTRICOS
  - GENERAL ELECTRIC ENERGY SAVER MOTORS.
- NOM-074-SCFI-1994. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES DE INDUCCIÓN DE CORRIENTE ALTERNA, TIPO JAULA DE ARDILLA, EN POTENCIAS DE 0.746 KW (1 HP) A 149.2KW (200 HP). 8 SEPTIEMBRE 1994.
- NOM-016-ENER-1997 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICOS, DE INDUCCIÓN, TIPO JAULA DE ARDILLA, DE USO GENERAL EN POTENCIA NOMINAL DE 0.746 A 149.2 KW. LIMITES, MÉTODO DE PRUEBA Y MARCADO.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-1999, Instalaciones eléctricas (utilización).
- CURSO: AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES ELÉCTRICOS Y VARIADORES DE VELOCIDAD MATERIAL ELABORADO POR: AMBAR ELECTROINGENIERIA GENERTEK  
CSI  
INGENIERIA ENERGÉTICA INTEGRAL.  
ABRIL 1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

- **CURSO: "AHORRO DE ENERGÍA EN MOTORES Y VARIADORES DE VELOCIDAD"**  
ING. ROGER GARCÍA NERI  
QUANTUM INGENIERÍA ELÉCTRICA  
MÉXICO D.F. SEPTIEMBRE 1999
- **"COMO AHORRAR ENERGÍA ELÉCTRICA"**  
FASCÍCULO EDITADO POR FIDE  
MÉXICO, D.F.
- **"VENTAJAS DEL USO DE MOTORES ELÉCTRICOS EFICIENTES"**  
FASCÍCULO EDITADO POR FIDE  
MÉXICO, D.F.
- **"LOS VARIADORES DE VELOCIDAD COMO UN MEDIO PARA AHORRAR ENERGÍA ELÉCTRICA"**  
FASCÍCULO EDITADO POR FIDE  
MÉXICO, D.F.
- **"ENERGÍA RACIONAL"**  
REVISTA EDITADA POR FIDE  
TOMO N° 40, pp. 13,17  
MÉXICO, D.F., SEPTIEMBRE 2001
- **"ENERGÍA RACIONAL"**  
REVISTA EDITADA POR FIDE  
TOMO N° 35, pp. 10,14  
MÉXICO, D.F., ABRIL 2001

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**PAGINAS WEB:**

- [WWW.CFE.GOB.MX](http://WWW.CFE.GOB.MX)
- [WWW.SIEMENS.COM.MX](http://WWW.SIEMENS.COM.MX)
- [WWW.FIDE.COM.MX](http://WWW.FIDE.COM.MX)
- [WWW.CONAE.COM.MX](http://WWW.CONAE.COM.MX)
- [WWW.SENER.GOB.MX](http://WWW.SENER.GOB.MX)
- [WWW.BALDOR.COM](http://WWW.BALDOR.COM)
- [WWW.JNEGL.GOB.MX](http://WWW.JNEGL.GOB.MX)
- [WWW.PREMIUM.COM](http://WWW.PREMIUM.COM)