



**"AHORRO DE ENERGIA EN  
MOTORES ELÉCTRICOS DE  
INDUCCIÓN TRIFASICOS"**

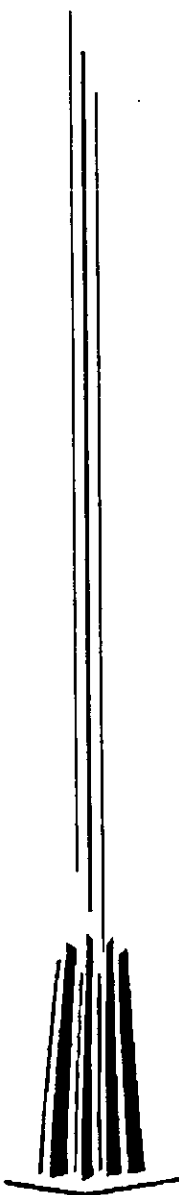
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:  
GOMEZ FLORES / CRUZ PELE

294044

ASESOR: ING. ABEL VERDE CRUZ





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 está 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.

Con mucho respeto dedico

Esta tesis a Dios

Y a nuestra madre la Virgen de Guadalupe,

Por toda la fuerza y el valor que

Me dieron para enfrentar todos los obstáculos

Que se me fueron presentando a lo largo de mi carrera.

El haber estudiado CINCO años la carrera

De Ingeniero Mecánico Eléctrico Electrónico, fue para mi

una gran satisfacción

el haber realizado por primera vez una tesis,

realmente me siento contento y orgulloso

de mi mismo, por haber podido vencer todos los obstáculos

que se presentaron en el trayecto de mi carrera y haber

podido alcanzar mis metas.

Por esta razón es para mi un honor

dedicar este libro a mis padres , hermanos y en memoria de

mi hermano Enrique , ya que hicieron un sacrificio y

esfuerzo para que yo pudiera superarme.

A los maestros que nos brindaron de una u otra manera sus

conocimientos, queriendo formar o teniendo como meta

principal el crear Ingenieros capaces de enfrentar todo tipo

de problemas, y así mismo el poder ayudar a nuestros

hermanos.

## OBJETIVO:

Generalizar la optimización del funcionamiento de los motores eléctricos, e identificar los principales potenciales de ahorro de energía eléctrica .

Difundiendo la cultura técnica sobre los criterios ,para el ahorro de energía eléctrica en motores eléctricos.

"Promover y fomentar lineamientos y acciones en materia de ahorro y uso eficiente de energía y aprovechamiento de energías renovables en el país; brindar asistencia técnica en la materia a los sectores público, privado y social; así como concertar la implantación de las normas de eficiencia energética".

El diagnóstico consiste en un estudio que se realiza en las empresas, mediciones en campo, para finalmente entregar una evaluación de acciones a realizar.

En las que podemos mencionar:

-Cambio en la operación de un determinado equipo con el que se logra un ahorro económico.

-El mantenimiento adecuado de un determinado equipo con el que se obtiene un ahorro económico.

-La sustitución de un determinado equipo por otro que mejora sus condiciones de trabajo con el que

## INTRODUCCION.

Los motores eléctricos son máquinas utilizadas en transformar energía eléctrica en mecánica. Son los motores utilizados en la industria, pues combinan las ventajas del uso de la energía eléctrica (bajo, costo, facilidad de transporte, limpieza y simplicidad de la puesta en marcha, etc) con una construcción relativamente simple, costo reducido y buena adaptación a los mas diversos tipos de carga.

Los diagnósticos de ahorro de energía tienen como objetivo informar al usuario donde puede realizar cambios dentro de su empresa para obtener ahorros.

En el primer capítulo se presentará el principio básico de funcionamiento de un motor de inducción. Se presentarán y describirán algunas formulas que son esenciales en la operación y en el comportamiento principal se darán algunas consideraciones básicas referente a dicho tema.

En el segundo capítulo se hablará de las características fundamentales que poseen los motores eléctricos es la eficiencia, este termino nos dice que tan bueno es un motor para poder convertir la energía eléctrica a energía mecánica. En dicho proceso de conversión se tienen pérdidas las cuales evitan que el 100% de la energía eléctrica que el motor toma de la línea sea convertida en su totalidad a energía mecánica, este problema de las pérdidas hace que un motor no pueda tener una eficiencia del 100%, sin embargo es posible reducir las pérdidas que se tienen en el motor al llevar a

## CONTENIDO.

INTRODUCCION.....	6
I. CLASIFICACION DE MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION TRIFÁSICOS.....	11
1.1. MOTOR ASINCRÓNICO DE ROTOR BOBINADO (DEVANADO.....)	13
1.2. MOTOR ASINCRÓNICO TIPO JAULA DE ARDILLA.....	14
1.3. PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....	16
1.4. PARTES QUE CONFORMAN UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....	21
1.5. CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN.....	24
II. CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES ELECTRICOS. PERDIDAS Y EFICIENCIAS.....	40
2.1. CARACTERISTICAS DE LA CLASIFICACIÓN NEMA.....	40
2.2. APLICACIÓN A LOS MOTORES ELÉCTRICOS DE INDUCCIÓN.....	42
2.3. SISTEMA GIRATORIO.....	44
2.4. MODELO CARACTERÍSTICO ASINCRONO TRIFÁSICO.....	45
2.5. PERDIDAS Y EFICIENCIAS.....	45
2.6. ARRANQUE MANUAL DE MOTORES DE INDUCCIÓN DE JAULA DE ARDILLA.....	46
2.7. PERDIDAS DE UN MOTOR.....	48
2.8. CARACTERÍSTICAS DE DATOS DE PLACA.....	63

# **CAPITULO 1**

## **I. CLASIFICACION DE MOTORES ELECTRICOS DE INDUCCION TRIFÁSICOS.**

respecto al cual es el motor adecuado. Sin embargo, puede resumirse que el motor apropiado es aquel que se ajusta a los requerimientos técnicos solicitados con un costo mínimo. Este último requisito no es factor difícil de calcular. Deben incluirse, no solo el costo de adquisición, sino también los gastos de explotación. El costo de adquisición incluye la provisión de cualquiera de los equipos de alimentación y control necesarios para hacer funcionar al motor.

Los gastos de explotación incluyen asimismo los intereses del equipo principal y edificios y los gastos por la energía consumida en los circuitos de la máquina y en su control.

Los valores del factor de potencia y el rendimiento son importantes. El mantenimiento es también un gasto corriente que en explotación y normalmente es más elevado cuanto más complicado es el equipo de control.

Los gastos de instalación también pueden ser decisivos. Por ejemplo: se necesitan cimentaciones especiales para los equipos motores.

Algunos motores se excluyen de una aplicación determinada debido a que el ambiente de trabajo es hostil, tal como las condiciones de elevada temperatura, elevado vacío, elevada velocidad o debido a la presencia de líquidos o ambientes corrosivos.

Los motores de inducción son generalmente el tipo de máquinas más baratas. Particularmente en el caso de un rotor de simple jaula. Su precio aumenta a medida que se exige más por parte del control de la velocidad o del torque o de las corrientes de arranque y lo cual podría requerir el empleo de una máquina síncrona podría llegar a ser competitiva.

Si se necesita un control de velocidad ajustable a cualquier valor dentro de un rango determinado, entonces se requieren motores de corriente continua, a menos que este justificado el empleo de un equipo de alimentación podría compensarse en parte con la de los aparatos de corriente continua o corriente alterna alimentados con tensión variable

Los motores eléctricos son máquinas utilizadas en transformar energía eléctrica en mecánica. Son los motores utilizados en la industria, pues combinan las ventajas del uso de la energía eléctrica (bajo costo, facilidad de transporte, limpieza y simplicidad de la puesta en marcha, etc.) con una



De lo anterior se puede concluir que cuando disminuye la velocidad del rotor el deslizamiento aumenta; y cuando la velocidad del rotor aumenta casi hasta llegar a la velocidad síncrona el deslizamiento es pequeño, casi despreciable.

Por ultimo se presentarán algunas consideraciones básicas como:

Se le llama motor de inducción debido a que el devanado del estator induce en el rotor una fuerza electromotriz inducida.

Como el rotor nunca gira a la velocidad síncrona, los motores de inducción también se conocen como motores asíncronos.

También son llamados motores de campo giratorio, por que el campo magnético generado en el estator es giratorio.

Y la consideración más importante es que el motor trifásico de inducción arranca por si mismo, sin necesidad de medios externos de arranque.

Algunas comparaciones básicas con el motor síncrono como:

El motor síncrono en comparación con el motor de inducción si ópera a la velocidad síncrona.

En el motor síncrono se tiene una velocidad constante que no se puede variar, como se puede hacer en el motor de inducción de rotor devanado

La inductancia propia del rotor, así como la frecuencia del rotor (  $f_R$  ) forman parte de la reactancia del rotor (  $X_R$  ) como se muestra en la siguiente expresión:

$$X_R = ( \omega_R ) ( L_R ) j = j ( 2\pi f_R ) ( L_R ) \dots\dots\dots (1-6)$$

Se dijo al principio que el motor de inducción trabaja bajo el mismo principio que un transformador, incluso que se le podría llamar transformador giratorio, pero hay una diferencia entre ambos y esa es la frecuencia.

En un transformador la frecuencia que hay en el primario como en el secundario es la misma, pero en el motor de inducción si varía, es decir, la frecuencia que hay en el estator y que se obtiene del sistema trifásico de voltaje no es la misma que se tiene en el rotor. La única forma en que la frecuencia puede ser la misma tanto en el estator como en el rotor, es que el rotor se bloquee de tal forma que no pueda girar.

Si el rotor está bloqueado, el deslizamiento es uno (  $S=1$  ) y la velocidad del rotor es cero (  $n_r = 0$  ) y la relación de frecuencias del estator y del rotor es :

$$f_E = f_R \dots\dots\dots (1-7)$$

Si el rotor gira a la velocidad síncrona, el deslizamiento es cero (  $S=0$  ) y la frecuencia en el rotor es cero.

bloqueado); además de tener una reactancia constante "XRB" (reactancia a rotor bloqueado); y se tiene presente también una resistencia que es variable, ya que es afectada por el deslizamiento.

En el circuito anterior se tiene una resistencia variable ( RR/S), pero anteriormente se había mencionado que la resistencia del rotor es de magnitud constante y que además es independiente del deslizamiento. Por lo que se puede concluir que el termino( RR / S ) está formado por dos resistencias, una es la resistencia real el rotor y la otra es la resistencia de carga ficticia, como se muestra en la siguiente ecuación :

$$\frac{RR}{S} = RR + RR \left( \frac{1 - S}{S} \right) \dots\dots\dots (1-15)$$

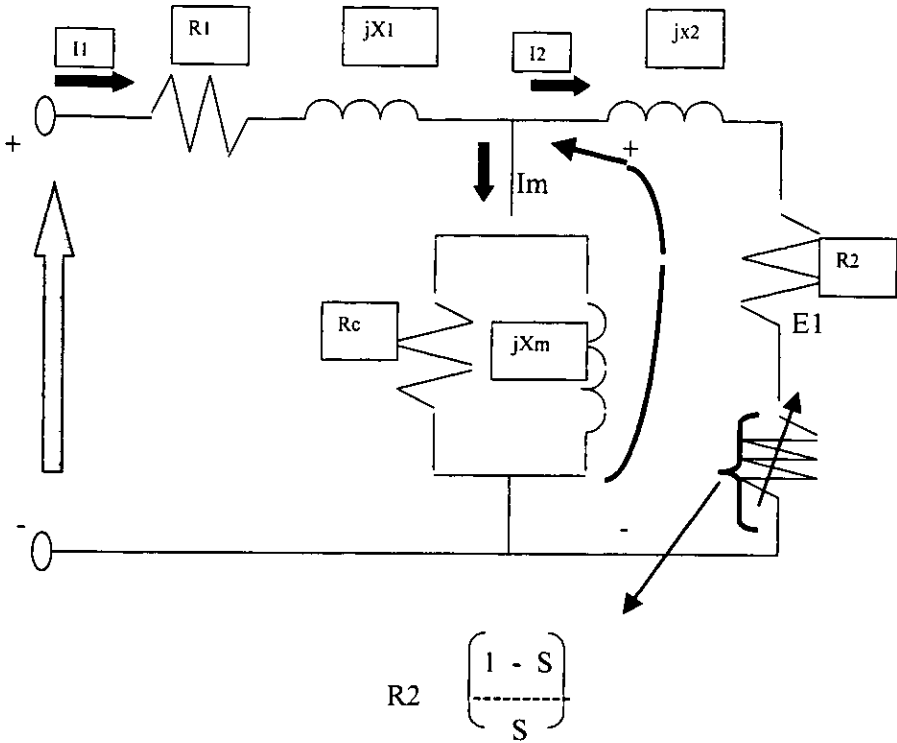
Donde :

RR = Es la resistencia real del rotor, la que es de magnitud constante e independiente del deslizamiento.

$$RR \left( \frac{1 - S}{S} \right) =$$

Es la resistencia de carga ficticia, la que en realidad varía según el deslizamiento.

Por lo que ahora el circuito equivalente definitivo del motor de inducción es el siguiente :



**Figura 1.7.** Circuito eléctrico equivalente por fase de un motor de inducción.

## **CAPITULO 2**

### **II. CARACTERISTICAS DE LOS MOTORES ELECTRICOS. PERDIDAS Y EFICIENCIAS.**

Los motores de muy alto deslizamiento, comúnmente disponen de 9 terminales, lo que permite conectar el motor en cualquiera de las cuatro modalidades de torque: 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 torques de arranque promedio 330, 230, 200 y 180% del nominal para sus modalidades de alto, medio, medio-bajo y bajo torque, respectivamente. Mientras que los motores convencionales se fabrican con torques promedio de 200% del nominal. Si en el motor convencional la demanda de torque 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 torque disminuirá su velocidad a medida que la demanda de torque 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.

### 2.3. < SISTEMA GIRATORIO

Supongamos ahora que el sistema de polos infinitos y las barras se acortan y se cierran sobre sí mismos. 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.

Si los polos magnéticos giran a una velocidad  $V_s$ , debido al movimiento relativo, aparecerá una fuerza electromotriz en las barras cortocircuitadas, esta fuerza electromotriz originará corrientes eléctricas. Las corrientes crearán polos magnéticos opuestos al movimiento de los polos magnéticos exteriores y al no haber oposición, la jaula girará libremente a una velocidad ( $w$ ) cercana aunque menor que la velocidad externa ( $w_s$ ).

Quando existe una conversión de energía, como en el caso del motor eléctrico se tienen pérdidas a lo largo del proceso, es por eso que la energía tomada de la línea no es convertida al 100% en energía mecánica, por lo que se puede decir que la diferencia entre la energía eléctrica tomada de la red y la energía mecánica obtenida en el eje del motor, son las pérdidas que se tienen en los motores eléctricos.

Las pérdidas en los motores eléctricos se deben a diversas causas, es por eso que cada pérdida tiene un nombre determinado, según la causa que la provoca. Las pérdidas se reflejan en el motor como : un incremento de temperatura y como reducción en su eficiencia.

Los diferentes tipos de pérdidas presentes en los motores eléctricos se describirán a continuación :

## **PÉRDIDAS MECÁNICAS.**

En las pérdidas mecánicas se incluyen las llamadas pérdidas por fricción y ventilación que son causa de la fricción o el rozamiento en los baleros, así como en los anillos colectores y en las escobillas en el caso de motores eléctricos dotados con estos aditamentos, también la acción del aire en los ventiladores forma parte de este tipo de pérdidas, ya que dependen de la velocidad del rotor y de la turbulencia producida por las partes en movimiento.

- iii. Otra cantidad de potencia se pierde por los efectos de histéresis y de las corrientes parásitas en el estator, denominadas pérdidas en el núcleo del estator ( $P_n$ ).

Las pérdidas en el núcleo o en el hierro se presentan tanto en el estator como en el rotor, pero debido a que el rotor opera a velocidades cercanas a la síncrona y por consecuencia con un deslizamiento pequeño las pérdidas en el núcleo ocurridas en el rotor son muy pequeñas en comparación con las pérdidas en el núcleo que se tienen en el estator, por lo que se puede decir que las pérdidas en el núcleo se ubican en el estator.

- iv. La potencia restante que se tiene hasta ahora en el estator, es transferida a través del entrehierro por inducción electromagnética al rotor. A ésta potencia se le conoce como potencia de entrehierro ( $P_{TR}$ ) y es parte de la potencia eléctrica de entrada ( $P_e$ ) que resta en este punto.
- v. La potencia transferida al rotor ( $P_{TR}$ ) que sólo una porción de la potencia total de entrada ( $P_e$ ), sufre otra pérdida al llegar al rotor conocida como pérdidas en el cobre del rotor ( $P_{cr}$ ), la cual se disipa como calor.
- vi. La potencia sobrante hasta ahora de la potencia de entrada, es convertida a potencia mecánica ( $P_m$ ) la cual realiza un trabajo útil.
- vii. La potencia mecánica ( $P_m$ ) sigue su flujo hasta llegar al eje del motor, pero antes de esto, sufre una pérdida en el rotor que es la pérdida por fricción y ventilación ( $P_{FV}$ ).



Posteriormente viene la conversión a potencia mecánica según el diagrama a bloques, por lo que se obtiene de la diferencia entre la potencia transmitida al rotor y la pérdida en el cobre del rotor, como se muestra en la siguiente expresión :

$$P_m = PTR - P_{cr} \dots\dots\dots (2-8)$$

Otra forma de obtener “Pm” es observando el circuito equivalente del motor de inducción, en la parte del rotor, se observa que la resistencia de carga ficticia es la causante de desarrollar potencia en el rotor capaz de producir par, por lo que :

Si la resistencia de carga ficticia =  $R_2 \left( \frac{1 - S}{S} \right)$

Otra expresión para obtener “Pm” también es :

$$P_m = 3 (I_2)^2 R_2 \left( \frac{1 - S}{S} \right) \dots\dots\dots (2-9)$$

Una expresión más con la que se puede obtener la potencia mecánica “Pm” es la siguiente :

utilizando la ecuación (2-7) y la ecuación (2-8) la nueva expresión para obtener la potencia mecánica “Pm” quedara como :

$$P_m = PTR - P_{cr} \dots\dots\dots (2-8)$$

$$P_{cr} = (S) (PTR) \dots\dots\dots (2-7)$$

sustituyendo (2-7) en (2-8)

$$P_m = PTR - (S) (PTR)$$

$$\text{Factorizando "PTR"} \quad P_m = PTR (1 - S) \dots\dots\dots (2-10)$$

- La eficiencia nominal a plena carga en porciento (2 dígitos enteros y uno decimal.).
  - Factor de servicio y corriente a factor de servicio (si existe).
  - Tiempo de operación.
  - Clase de aislamiento.
  - Velocidad a plena carga, en RPM.
  - Temperatura ambiente máxima.
  - Características de lubricación.
  - La leyenda "Hecho en México" o indicación del país de origen.
  - Número de serie.
  - Para motores fraccionarios estos datos pueden omitirse.
  - Los siguientes datos por los mínimos que debe llevar en las etiquetas o placa adicional.
- 
- Sistema de lubricación.
  - Peso del motor en kilogramos.
  - Diagramas de los accesorios y sus valores de operación (si los lleva) y sentido de rotación de la flecha, cuando se requiera o solicite.

Todos los símbolos de las unidades que se utilicen en el mercado deben cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI, Sistema General de Unidades de Medida.

- El motor debe prepararse para su embarque.
- Dispositivos de embarque para evitar cualquier movimiento de la flecha, para motores con rodamientos de tipo chumacera.
- Calcomanías o etiquetas que indiquen los puntos de levantamiento
- Elementos de sujeción para el adecuado transporte del motor, cuando éste tenga un peso mayor que 30 kg.

## **CAPITULO 3**

### **III. AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA EN MOTORES ELECTRICOS.**

**herramientas, la carga puede variar frecuentemente, alta durante algunos periodos y baja durante otros.**

**Obviamente, en cargas cíclicas, es importante dimensionar el motor de tal manera que pueda manejar la condición del peor caso, sin embargo, en el caso de motores continuamente cargados en algún punto entre el 50% y el 100%, e idealmente en el rango del 75% al 80%. Haciendo esto, se puede disponer de alta eficiencia y la vida del motor será larga. Asimismo, cargándolos a menos del 100%, los motores pueden tolerar con mayor facilidad ciertas condiciones, tales como alto voltaje y altas temperaturas ambientales, condiciones que pueden ocurrir simultáneamente en el verano. Este enfoque dará como resultado una óptima eficiencia mientras se preserva la vida del motor.**

**Con los niveles de carga variable y carga intermitente, los ahorros proyectados, basados en eficiencias a plena carga, pudieran ser menores o no materializarse.**

**Los motores ME con sus diseños mejorados, tienen como resultado menores costos de operación a cualquier nivel de carga y hasta sin carga, Por ejemplo las pérdidas de un motor de ME de 5 hp, sin carga, podrían ser de 215w; las pérdidas de un motor estándar del mismo tipo, podrían ser de 330w. La Figura 3.1. muestra la gráfica de las pérdidas en watts en los varios**

**niveles de un motor convencional de 25 hp contra la de un motor ME del mismo tipo. La curva de esta clase cambia dramáticamente con el tamaño del motor, pero las tendencias son las mismas.**

**Las pérdidas por histéresis son resultado de la constante re-orientación del campo magnético dentro de las laminaciones de acero de motor.**

**Las pérdidas por las corrientes de Eddy son resultado del mismo fenómeno, que produce pequeñas corrientes eléctricas en el acero. Estas corrientes eléctricas circulan entre sí y producen calor sin contribuir a la potencia de la salida del motor. La histéresis de Eddy ocurren tanto en las partes estacionarias como las rotativas del motor; sin embargo la mayor parte ocurre en la porción estacionaria.**

**Adicionalmente, hay pérdidas por fricción y viento las pérdidas por fricción son el resultado de la fricción en baleros de bolas. Si bien los baleros son extremadamente eficientes, aún se generan algunas pérdidas.**

**Las pérdidas por viento son realmente la combinación de varias cosas : Primero, el giro del rotor en el aire crea algún arrastre. Entre más rápido gira ,crea un mayor arrastre del aire circundante. Además, tiene que haber flujo de aire a través o por encima del motor para disipar el calor que se genera por las diversas pérdidas. En la mayor parte de los casos, se incorpora un ventilador a la flecha del motor o se diseña un ventilador en los extremos del rotor, para proporcionar el aire de enfriamiento. Esto consume energía de entrada sin producir potencia de salida.**

**Finalmente hay una categoría denominada pérdidas por corrientes vagabundas . Éstas no son clasificables dentro de las categorías anteriores. Generalmente las pérdidas por corriente vagabundas depende de la carga del motor y aumentan a medida que se aumenta la carga.**

en bombas y máquinas-herramientas, así como motores viejos(en los que no están disponibles de inmediato intercambios directos). Estos caen en un área nebulosa donde la sustitución podrían no estar justificadas.

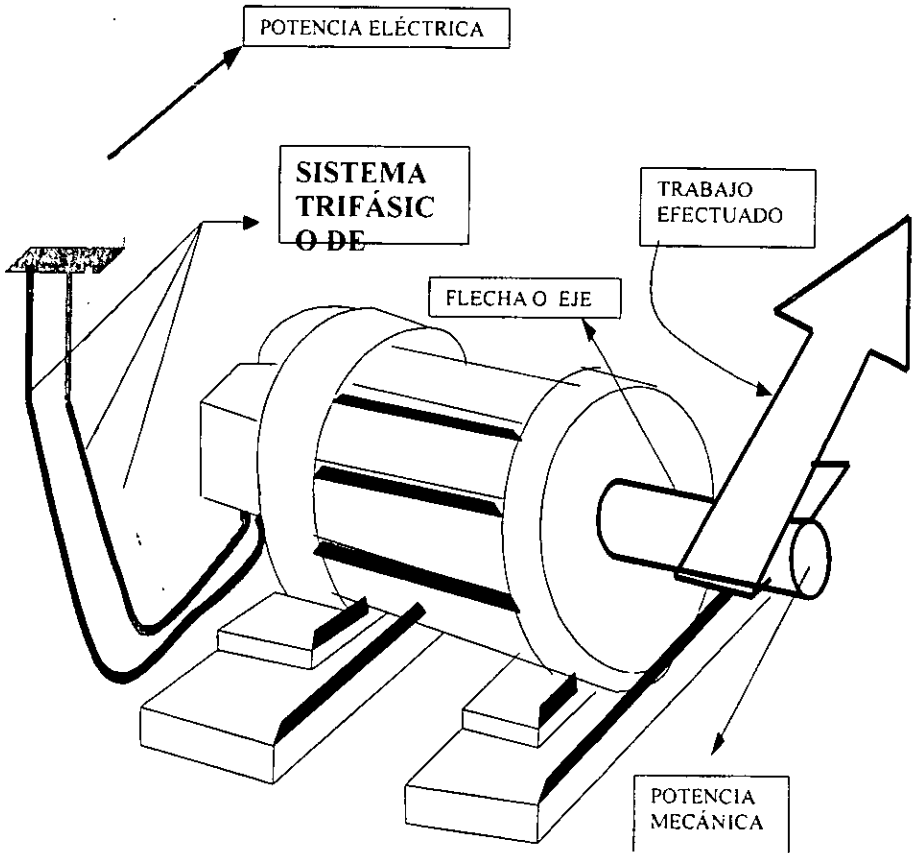
Los motores que tienen el potencial de ahorro más grande son aquellos que operan durante casi todo el tiempo en condiciones de carga casi total. Estos son los candidatos lógicos para cualquier programa de sustitución.

**Equipo nuevo.**

Cuando se compre equipo nuevo que va operar por períodos sustanciales de tiempo, solicite la opción de motores ME como parte de la invitación al concurso. Cuando se soliciten cotizaciones de compresores de aire, bombas, equipo de calentamiento ventilación y aire acondicionado (HVAC) maquinaria de proceso, etc., especificación deberá de decir así:

-Los posteros deberán de cotizar juntamente con su opción de motores estándar de inducción y como una alternativa, una cotización de la misma máquina equipada con motores de máxima eficiencia. El postor deberá proporcionar por se parado el incremento en el costo debido a la adición tales motores y las eficiencias nominales tanto de los motores estándar como la de los motores ME ofrecidos.

Mediante el uso de una especificación similar a está, el propietario del equipo estará en posición de tomar decisiones lógicas sobre la intalación de motores nuevos en esta fábrica o industria. En la mayor parte de los casos, el aumento del costo por un motor más eficientes será relativamente pequeño, especialmente cuando se le compara con el costo del equipo al que acciona.



**Figura 3.5.** Esta figura muestra a un motor eléctrico conectado a un sistema de voltajes trifásicos, por lo cual se alimenta de potencia eléctrica a la entrada, el motor convierte esta potencia a potencia mecánica disponible en el eje del motor y la cual es capaz de realizar un trabajo útil.

- v. La fuerza electromotriz inducida en el rotor es mínima porque depende del deslizamiento, esto se puede observar en la siguiente ecuación.

$$E_R = (S)(E_{RB})$$

- vi. La poca corriente en el rotor es suficiente para producir una "Br" que al interactuar con "Bs" forman un "Bnet" suficiente para producir el par necesario en vacío.
- vii. Cuando el motor opera en vacío el factor de potencia del mismo es extremadamente pequeño e inductivo.

### 3.6. COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN OPERANDO A MEDIA CARGA

Se dice que un motor se encuentra operando en vacío cuando al eje del motor se le coloca sólo la mitad de la carga, de una total denominada carga nominal, y para la cual está diseñado el motor.

- i. La velocidad del rotor disminuye ligeramente provocando que el deslizamiento aumente.



Una vez que el motor esta en el límite de estabilidad o par máximo, si se incrementa un poco la carga, el par que en ese momento desarrolla el motor empieza a disminuir, provocando inestabilidad en el motor.

La corriente de línea que consume el motor, continua aumentando una vez que el motor pasa su par de plena carga hasta llegar al par máximo o límite de estabilidad. A diferencia del par que disminuye al pasar el límite de estabilidad, la corriente de línea sigue aumentando.

Un motor de inducción suele tener un par en el momento del arranque, llamado par de arranque que le permite arrancar con la carga nominal acoplada a su eje. Posteriormente el motor desarrolla un par nominal de plena carga, y el par puede seguir aumentando hasta llegar al par máximo normalmente el par máximo llega a ser del 200% o 250% el valor del par nominal de plena carga.

Como el par de arranque debe ser lo suficientemente grande como para poder arrancar con la carga nominal acoplada al eje del motor, su valor llega a ser del 150% del valor a plena carga. Por lo que se puede decir que el par de arranque es más grande que el par nominal de plena carga.

Ahora se muestra una gráfica con la curva característica par-velocidad de un motor de inducción en la figura 3.8.

Si las expresiones (2-10) y (3-3) se sustituyen en la ecuación (3-2), dicha ecuación quedará de la manera siguiente :

$$T_p = \frac{P_m}{\omega R} \dots\dots\dots (3-2)$$

$$T_p = \frac{PTR (1-S)}{\omega_s (1-S)} = \frac{PTR}{\omega_s}$$

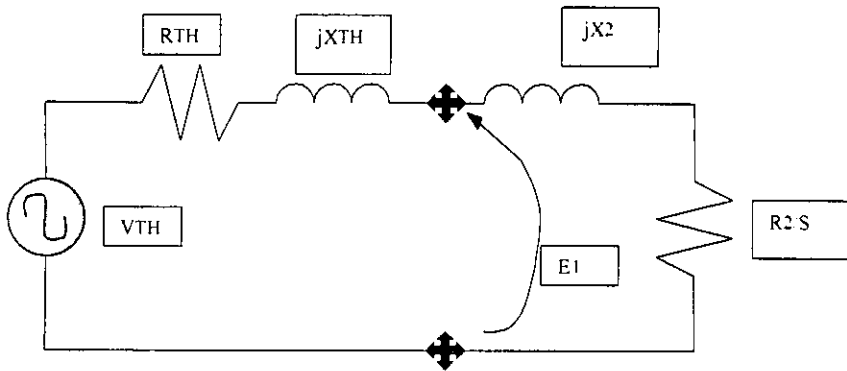
De esta manera se obtiene otra expresión para el par producido :

$$T_p = \frac{PTR}{\omega_s} \dots\dots\dots (3-4)$$

Donde :

y  $X_{TH} \approx X_1$  ..... (3-8)

De tal manera que el circuito quede :



Por lo que la corriente I2 esta dada por :

$$I_2 = \frac{V_{TH}}{Z_{TH} + Z_2}$$

Desarrollando

$$I_2 = \frac{V_{TH}}{R_{TH} + jX_{TH} + R_2/S + jX_2}$$

La impedancia de la fuente es :  $Z_F = R_{TH} + jX_{TH} + jX_2$

Así que la máxima potencia transferida se tiene cuando :

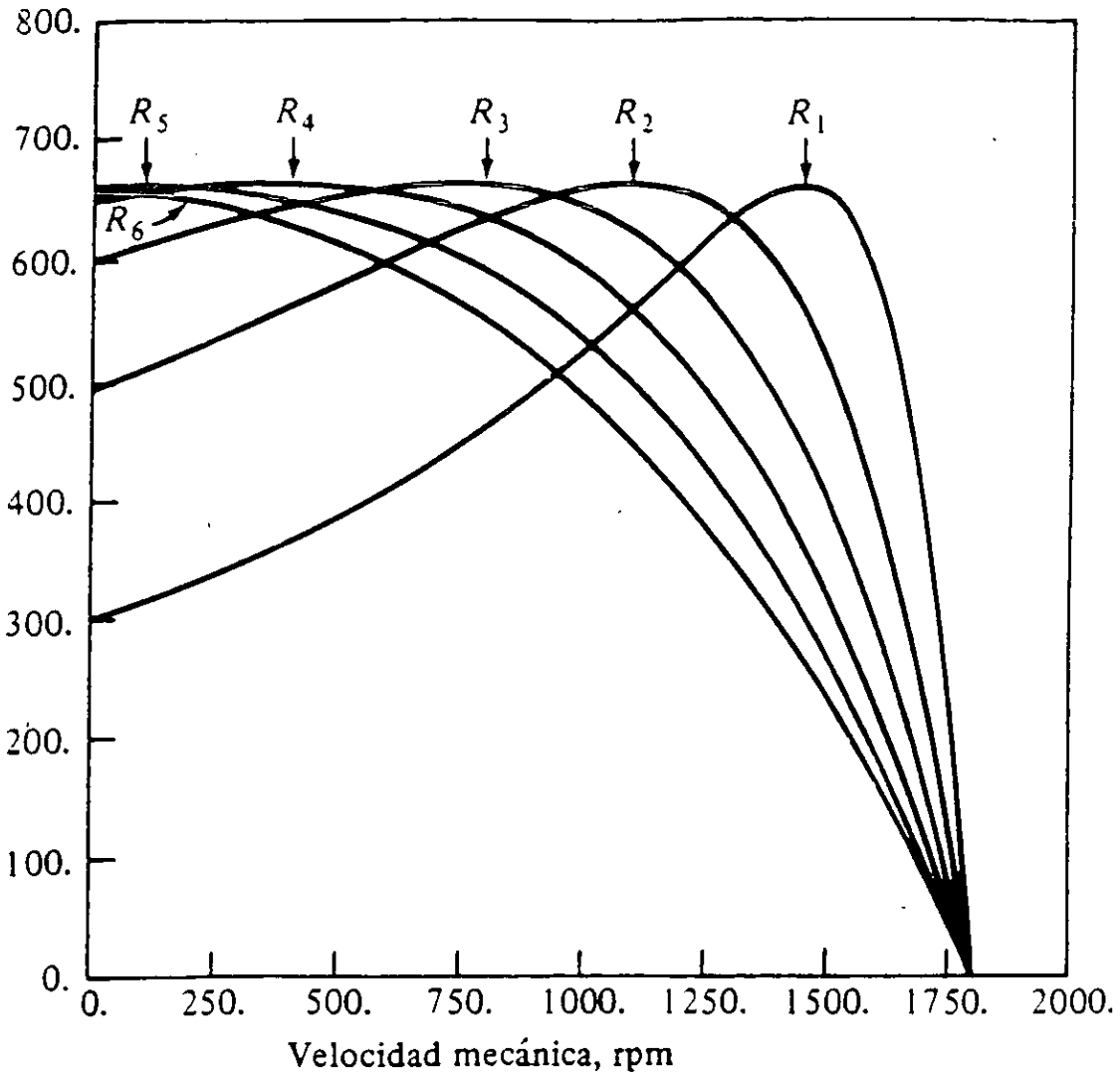
$$R_2 = \sqrt{(R_{TH})^2 + (X_{TH} + X_2)^2}$$

S

Por lo que el deslizamiento que se tiene en el momento en el que el motor desarrolla el par máximo, está dado por :

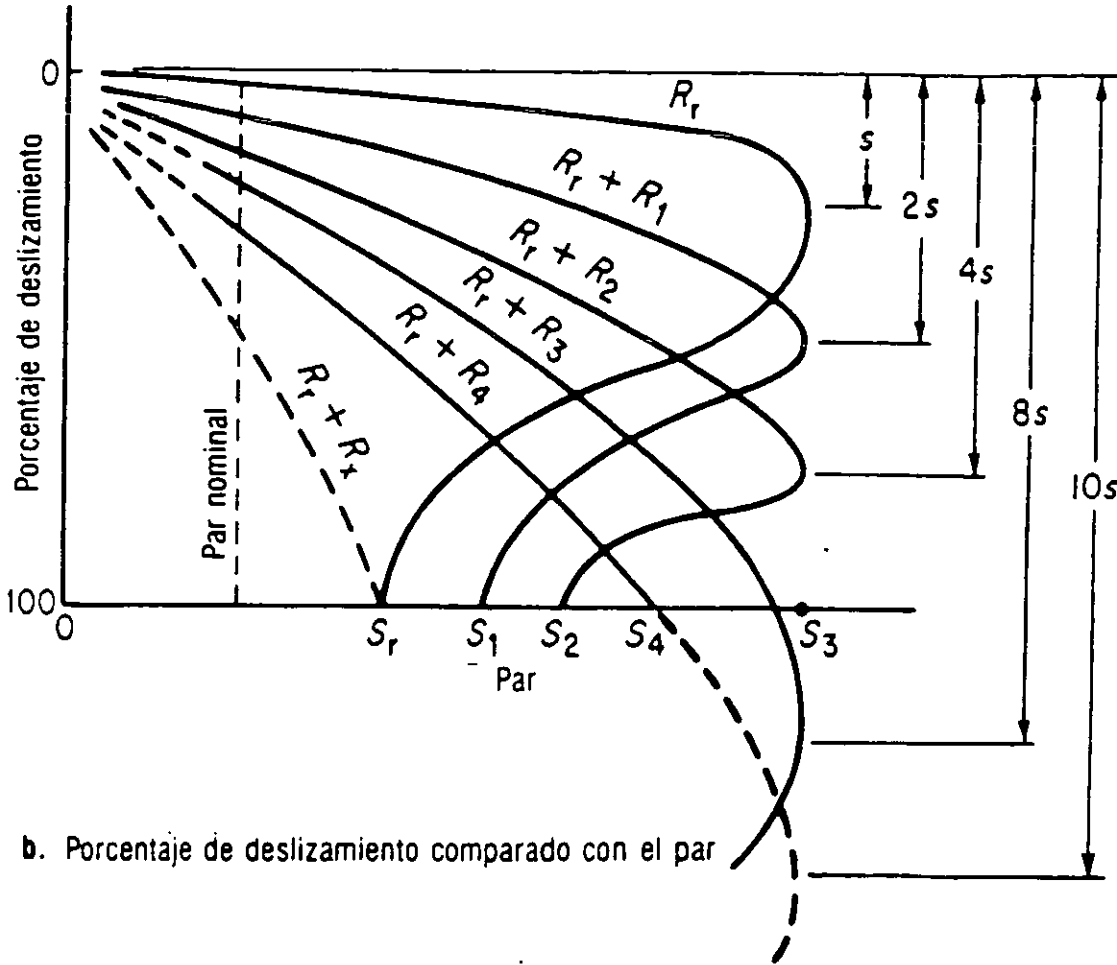
$$s_{m\acute{a}x} = \frac{R_2}{\sqrt{(R_{TH})^2 + (X_{TH} + X_2)^2}}$$

$$R_1 < R_2 < R_3 < R_4 < R_5 < R_6$$



**Figura 3.9.** Efecto de la variación de la resistencia del rotor en la curva característica par-velocidad de un motor de inducción con rotor devanado.

con carga muy pesada. Una vez que el rotor gire con la carga se le retira la resistencia que se le añadió a la resistencia del rotor, para que el par máximo se desplace a velocidades más cercanas a la síncrona, para operación normal.



b. Porcentaje de deslizamiento comparado con el par

**Figura 3.12** Efecto de la variación de la resistencia del rotor sobre las características de arranque y de funcionamiento de un motor de inducción con rotor devanado en la curva de deslizamiento en % en función del par.

- f) Es una ventaja para los motores de inducción el poder contar con un par de arranque, ya que al variar la resistencia del rotor se puede manipular la posición del par máximo, de tal manera que se pueda tener dicho par en el arranque, esto hace que un motor de inducción pueda arrancar con cargas muy pesadas, característica que el motor síncrono no tiene.
  
- g) Un motor síncrono es mucho más eficiente operando a factor de potencia unitario que un motor de inducción de la misma potencia y voltaje nominal.
  
- h) El motor síncrono a diferencia del motor de inducción, requiere de una fuente de excitación de corriente directa que debe ser en algunos casos externa.

## CONCLUSIONES:

El estudio de proyectos de ahorros de energía en motores eléctricos de inducción ha constituido desde siempre una de las barreras más importantes para la creación y consolidación de un mercado de tecnologías de alta eficiencia, debido principalmente a la falta de difusión y planteamiento adecuado de propuestas hacia el sector empresarial de la importancia del ahorro de energía como alternativa de negocio.

- la obtención de importantes cantidades de ahorro de energía, y mayor rendimiento de los motores se deben a las normas oficiales (Asociación Nacional de Normalización y Certificación del Sector Eléctrico) representa una opción práctica y efectiva para que se mantengan los niveles de eficiencia en los motores instalados en la industria.
- En el estudio realizado para obtener mayor rendimiento en los motores eléctricos de inducción, es contemplar una buena información hacia la industria para incorporarlos al programa de eficiencia energética, para el proyecto de “ahorro de energía en motores eléctricos de inducción”, el involucramiento de los distintos agentes que participan en el mercado, especialmente de las firmas de ingeniería, contratistas y fabricantes/ distribuidores de equipo en un adecuado proceso de desarrollo para convertirse en empresas de alto rendimiento de uso energético.
- Con el manejo adecuado del equipo instalado, en los tiempos de producción, y el conocimiento de las fórmulas de eficiencias el podrá realizar l



**BIBLIOGRAFIA:**

**MAQUINAS ELÉCTRICAS Y TRANSFORMADORES**  
**KOSOW L. IRVING.**

**MAQUINAS ELECTRICAS**  
**STEPHEN J. CHAPMAN.**

**ARRANQUE DE MOTORES MEDIANTE CONTACTORES. TOMO I: POR CONMUTACION DE POLOS**

*Vicent LLADONOSA*

*248 págs.*

*Marcombo Importación*

**ARRANQUE DE MOTORES MEDIANTE CONTACTORES. TOMO II: POR RESISTENCIAS ESTATORICAS**

*Vicent LLADONOSA*

*144 págs.*

*Marcombo Importación*

**ARRANQUE DE MOTORES MEDIANTE CONTACTORES. TOMO III: POR CONMUTACION ESTRELLA-TRIANGULO RESISTENCIAS-TRIANGULO**

*Vicent LLADONOSA*

*144 págs.*

*Marcombo Importación*

**ARRANQUE DE MOTORES MEDIANTE CONTACTORES. TOMO IV: POR AUTOTRANSFORMADOR**

*Vicent LLADONOSA*

*144 págs.*

*Marcombo Importación*

**ARRANQUE DE MOTORES MEDIANTE CONTACTORES. TOMO V: POR RESISTENCIAS ROTORICAS**

*Vicent LLADONOSA*

*228 págs. 2*

*Marcombo Importación*

**CALCULO INDUSTRIAL DE MAQUINAS ELECTRICAS. TOMO 2**

*Juan CORRALES*

*576 págs.*

*Marcombo Importación*

**CONTROL DE MOTORES ELECTRICOS**

*R. L. McINTYRE*

*384 págs.*

*Marcombo*

**CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA**

*Vembu GOURISHANKAR*

*656 págs.*

*Alfaomega*