



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" ARAGON "

56
2E

" ELABORACION DE UN TUTORIAL PARA EL DISEÑO DE
MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS CON
MULTIMEDIA "

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

RODRIGO OCON VALDEZ

ENEP

ARAGON SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEXICO

1995.



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.

PAGINACION VARIA

COMPLETA LA INFORMACION



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

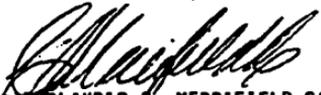
ARAGÓN
DIRECCION

RODRIGO OCON VALDEZ
Presente.

En contestación a su solicitud de fecha 23 de septiembre del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JUAN MENDEZ MORENO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "ELABORACION DE UN TUTORIAL PARA EL DISEÑO DE MOTORES DE INDUCCION TRIFASICOS CON MULTIMEDIA", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

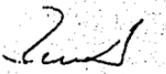
Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., octubre 4 de 1993
EL DIRECTOR


M en J CLAUDIO E. MERRIFIELD CASTRO

c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
c c p Ing. Federico Jáuregui Renaud, Jefe de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
c c p Ing. Juan Méndez Moreno, Asesor de Tesis.

CCHC/AIR/vr

**No basta con alcanzar la sabiduría
Es preciso saber utilizarla**

Marco Tulio Ciceron.

**Un conocimiento bien ganado
siempre es recompensado**

R.O.V.

DEDICATORIA

**A mis padres Salvador Ocón Medellín y Celia Valdez Nava
con todo cariño, respeto y admiración, porque gracias a
ellos soy lo que soy.**

A mis hermanos Marco y Gerardo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todo el personal del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) por el apoyo y facilidades otorgadas para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (U.N.A.M.) y en particular a la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón por darme la oportunidad de obtener una formación profesional.

A mis asesores:

M.I. H. Octavio de la Torre Vega por permitirme formar parte del proyecto y por su invaluable ayuda otorgada durante la elaboración del presente trabajo de tesis.

Ing. Juan Méndez Moreno con todo respeto y admiración por la invaluable ayuda y amistad otorgadas durante mi formación académica y su colaboración para la realización del presente trabajo.

A el **Ing. Francisco Antonio Carvajal Martínez** y al **Ing. José Manuel Ramírez** por todas las observaciones y comentarios que sirvieron para enriquecer el contenido del presente trabajo.

De una manera especial agradezco a las siguientes personas que me hicieron el favor de revisar mi trabajo:

Ing. Raul Barrón Vera
Ing. J.J. Ramón Mejía Roldán
Ing. Rodolfo Zaragoza Buchain
Ing. Adrian Islas Arguello

A todos mis grandes amigos, los cuales siempre me apoyaron y otorgaron su ayuda cuando la necesitaba.

A Dios...

**Elaboración de un Tutorial para diseño
de motores de inducción trifásicos,
con Multimedia.**

Rodrigo Ocón Valdez

CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN	1-1
-----------------------------	-----

2.- EL SISTEMA MULTIMEDIA

2.1. ¿QUE ES MULTIMEDIA?	2-1
2.2. ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE MULTIMEDIA	2-3
2.3. ELEMENTOS OPCIONALES	2-5
2.3.1. Digitalizadores de imagen (<i>scanners</i>)	2-5
2.3.2. Monitores sensibles al tacto (<i>touch screens</i>)	2-8
2.4. CD-ROM	2-8
2.4.1. Tipos de CD	2-10
2.5. AUDIO EN LA COMPUTADORA.	2-11
2.5.1. Tarjetas de audio	2-14
2.5.2. Elementos que constituyen la tarjeta de audio	2-15
2.5.3. Archivos de audio	2-17
2.5.4. Instalación de tarjetas de audio	2-18
2.6. IMAGEN EN LA PC	2-20
2.6.1. Video y animación en la computadora	2-21
2.6.2. Tarjetas de video	2-23

2.6.3. Estándares de video	2-23
2.7. APLICACIONES	2-25
2.8. REALIDAD VIRTUAL	2-26
2.8.1. Categorías de realidad virtual	2-28

3.- TEORÍA BÁSICA Y CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO

3.1. GENERALIDADES	3-1
3.2. RESEÑA HISTÓRICA	3-2
3.3. PRINCIPIOS ELEMENTALES	3-3
3.3.1. Ley de Faraday	3-3
3.3.2. Ley de Lenz	3-4
3.3.3. Voltaje inducido sobre un conductor móvil en un campo magnético	3-4
3.3.4. Ley de Ampere	3-6
3.3.5. Relación de fuerza de Biot-Savart	3-7
3.4. CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFASICO	3-9
3.5. TIPOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFASICOS	3-13
3.6. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	3-15
3.7. CAMPO MAGNÉTICO GIRATORIO	3-17
3.8. CONCEPTO DE DESLIZAMIENTO	3-19
3.9. FRECUENCIA ELÉCTRICA DEL ROTOR	3-21
3.10. EFICIENCIA	3-21
3.11. CIRCUITO EQUIVALENTE	3-23

3.12. CURVA PAR-VELOCIDAD	3-25
3.12.1. Análisis de la curva Par-Velocidad	3-29
3.13. CLASES DE DISEÑO	3-30
3.14. APLICACIONES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN	3-32
3.15. ECUACIONES DE PAR Y POTENCIA	3-34
3.16. ESPECIFICACIONES NOMINALES	3-36

4.- PROCESO GENERAL DE DISEÑO

4.1. FUERZA MAGNETOMOTRIZ EN DEVANADOS TRIFASICOS	4-1
4.2. CÚSPIDES EN LA CURVA PAR-VELOCIDAD	4-4
4.3. PUNTOS MUERTOS DE PAR	4-5
4.4. DEVANADOS DEL ESTATOR	4-6
4.4.1. Devanado de paso completo	4-7
4.4.2. Devanado de paso fraccionario	4-8
4.4.3. Factor de paso	4-8
4.4.4. Factor de distribución	4-9
4.4.5. Factor de devanado	4-10
4.4.6. Factor de torcimiento	4-10
4.4.7. Conductores en serie efectivos por fase	4-10
4.5. TIPOS DE ACEROS UTILIZADOS EN MAQUINAS ELÉCTRICAS	4-12
4.5.1. Principales tipos de aceros utilizados en motores	4-13
4.5.2. Factores que determinan el nivel de pérdidas en aceros laminados	4-14
4.6. PROCESO DE DISEÑO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN	4-15
4.6.1. Normas de diseño	4-18

4.7. PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO	4-21
4.7.1. Dimensionamiento del estator	4-21
Longitud del entrehierro	4-24
Selección del número de ranuras	4-24
Tipos de ranuras	4-25
Yugo del estator	4-26
4.7.2. Dimensionamiento del rotor	4-27
Número de ranuras del rotor	4-27
Inclinación de las ranuras	4-28
Tipos de ranuras	4-29
Yugo del rotor.	4-30
4.7.3. Diseño del circuito eléctrico	4-30
4.7.4. Cálculo del circuito magnético	4-33
Factor de Carter	4-35
Factor de saturación	4-36
4.7.5. Determinación de las características de operación	4-36
Reactancias de dispersion	4-37
Resistencia y peso del devanado	4-40
Perdidas en el núcleo	4-41
Perdidas adicionales en el núcleo	4-41
Perdidas por fricción y ventilación	4-41
Perdidas indeterminadas	4-42
Resolución del circuito equivalente	4-42
Elevación de temperatura	4-45
4.8. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA	4-46
4.8.1. Aspectos de aplicación que afectan la eficiencia	4-46
Voltaje de diseño	4-46
Operación a tensiones diferentes a la nominal	4-47
Tamaño del motor	4-47
Carga	4-47

Chumaceras	4-47
Cambios típicos para mejorar la eficiencia	4-48

5.- ESTRUCTURA Y DESARROLLO DEL TUTORIAL

5.1. EQUIPO UTILIZADO EN LA ELABORACIÓN DEL TUTORIAL	5-1
5.1.1. Software utilizado	5-1
a) Programa editor de imágenes	5-2
b) Procesador de textos	5-5
c) Programa para digitalización de imágenes	5-6
d) Programa para captura de pantallas	5-10
e) Programa de edición y captura de audio	5-12
f) Programa editor de presentaciones	5-14
g) Programa para generación de animaciones	5-19
5.1.2. Hardware utilizado	5-20
5.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN CURSO POR COMPUTADORA	5-25

6.- CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES	6-1
6.2. TRABAJOS FUTUROS	6-3
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.	6-4

ANEXO

Pantallas del tutorial	A-1
-------------------------------------	------------

LISTA DE FIGURAS

2.1. El ambiente Multimedia	2-6
2.2. Tipos de unidades de CD-ROM	2-10
2.3. Características de una señal analógica	2-12
2.4. Instalación de tarjetas en las ranuras de expansión de una PC	2-14
2.5. Resolución en monitores de computadoras	2-20
2.6. Transferencia de datos hacia un monitor	2-21
3.1. Regla de la mano derecha para voltajes inducidos en un conductor	3-5
3.2. Trayectorias de flujo alrededor de un conductor por el cual circula una corriente	3-6
3.3. Regla de la mano derecha para la dirección de flujo magnético alrededor de un conductor	3-7
3.4. Dirección de flujo magnético en una bobina	3-7
3.5. Fuerza generada en un conductor por el cual circula una corriente	3-8
3.6. Regla de la mano izquierda para fuerza generada en un conductor	3-9
3.7. Motor de inducción con jaula de ardilla	3-11
3.8. Rotor jaula de ardilla de una máquina de inducción	3-11
3.9. Tipos de rotores en motores de inducción	3-14
3.10. Par generado en una espira conductora	3-15
3.11. Generación de un par en un rotor jaula de ardilla	3-16
3.12. Campo magnético giratorio en un estator trifásico	3-17
3.13. Diagrama de flujo de potencia	3-22
3.14. Circuito equivalente del motor de inducción visto como transformador	3-23
3.15. Circuito equivalente del motor de inducción trifásico	3-24
3.16. Generación del par en el rotor de una máquina de inducción	3-26
3.17. Corriente de rotor VS velocidad	3-28
3.18. Densidad de flujo VS velocidad	3-28
3.19. Factor de potencia VS velocidad	3-28
3.20. Curva Par-Velocidad del motor de inducción trifásico	3-29
3.21. Curvas Par-Velocidad para los tipos de diseño	3-31
3.22. Circuito equivalente de Thevenin	3-35
4.1. Fuerza magnetomotriz generada por un devanado de fase	4-1
4.2. Cúspides en la curva Par-Velocidad	4-5
4.3. Pares muertos en la curva Par-Velocidad	4-5
4.4. Sección de un devanado trifásico en un motor de inducción	4-7
4.5. Armazón típica de un motor de inducción trifásico totalmente cerrado	4-22
4.6. Dimensiones principales del núcleo	4-23
4.7. Tipos de ranuras del estator	4-26
4.8. Tipos de ranuras utilizadas en rotores jaula de ardilla	4-29
4.9. Corrientes en un rotor de tipo jaula de ardilla	4-31

4.10. Circuito magnético del motor de inducción trifásico	4-35
4.11. Flujos de dispersión en Zig-zag y en las ranuras de una máquina de inducción	4-37
4.12. Flujo de dispersión alrededor de una ranura	4-38
4.13. Flujo de dispersión en los cabezales de una bobina	4-39
4.14. Ranura de un rotor con doble jaula de ardilla	4-43
4.15. Circuito equivalente para un motor de inducción con doble jaula de ardilla	4-44
5.1. Pantalla de trabajo con Paintbrush	5-3
5.2. Pantalla de trabajo con Photostyler	5-4
5.3. Cuadro para ajuste de brillo y contraste con Photostyler	5-5
5.4. Pantalla del software para digitalización de imágenes	5-7
5.5. Cuadro de dialogo para seleccionar el tipo de imagen, dentro del software de digitalización	5-10
5.6. Programa para captura de pantallas Paint Shop Pro	5-11
5.7. Grabadora de sonidos y Wave studio	5-12
5.8. Lista de iconos de Authorware	5-15
5.9. Pantalla de trabajo con Authorware	5-16
5.10. Secuencia de iconos en la línea de flujo del Authorware	5-17
5.11. Estructura para cambio de pantallas en Authorware	5-18
5.12. Programa IMAGE Q	5-19
5.13. Estructura general del tutorial	5-21
5.14. Estructura del módulo principios elementales	5-22
5.15. Estructura interna de un módulo con cambio de páginas	5-23
5.16. Estructura interna de una página	5-24
5.17. Estructura interna del módulo clasificación	5-25

LISTA DE TABLAS

2.1. Frecuencia de muestreo y calidad de sonido en tarjetas de audio	2-12
2.2. Bytes consumidos para diferentes frecuencias de muestreo	2-13
2.3. Tipos de sintetizadores	2-16
2.4. Configuración común de IRQ para computadoras 286 y superiores	2-19
2.5. Asignaciones comunes a canales DMA	2-19
3.1. Clases de materiales aislantes	3-12
3.2. Clases de diseño de motores trifásicos	3-32
3.3. Aplicaciones de los motores de rotor devanado	3-33
3.4. Letras claves para motores de inducción	3-37
4.1. Valor de la constante C_1	4-11
4.2. Tipos de aceros laminados utilizados en MER	4-13
4.3. Laminaciones de acero grado M	4-14
4.4. Valores de potencia, tensión y frecuencia normalizados	4-19
4.5. Potencia de salida y tipo de armazón en máquinas trifásicas	4-20
4.6. Número de ranuras del estator recomendadas para motores de inducción trifásicos.	4-25
4.7. Ranuras recomendables para el estator y rotor de motores jaula de ardilla	4-28
5.1. Bytes consumidos por cada tipo de imagen	5-8

1.- INTRODUCCIÓN

El diseño de máquinas eléctricas, es una rama de la ingeniería que se encuentra cimentada básicamente por conocimientos teóricos (leyes de la teoría electromagnética) y en buena medida en la experiencia propia del diseñador. Los conceptos, la ecuaciones y fenómenos involucrados durante el diseño y operación de un motor de inducción, son en la mayoría de los casos difíciles de visualizar físicamente y las matemáticas implicadas para el análisis son bastante tediosas.

Se obtuvo un gran avance al incluir el uso de la computadora en el proceso de diseño. Los tiempos requeridos para la generación de diseños y optimización de los mismos se redujeron considerablemente, dando la posibilidad de obtener avances muy significativos en éste campo. Sin embargo, el uso de un programa de diseño, implica que por lo menos el diseñador deba conocer el principio de funcionamiento y el proceso de diseño de la máquina que se pretende diseñar.

Por otra parte, el uso de la computadora digital como herramienta para el aprendizaje, ha tenido una buena aceptación dentro del sector educativo, y quizás sea este el momento de introducirla a gran escala dentro del sector industrial, en donde puede ser utilizada para disminuir los tiempos requerido en la capacitación de personal.

De acuerdo a las premisas anteriores, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), decidió desarrollar un proyecto dentro del área de las máquinas asíncronas. Uno de los objetivos de este proyecto es la elaboración de un tutorial por computadora para el diseño de motores de inducción trifásicos y monofásicos.

Este trabajo de tesis cubre únicamente la primera parte del este tutorial en lo referente a motores de inducción trifásicos. La plataforma computacional en la cual se encuentra cimentado el tutorial, es el sistema de reciente aparición denominado "Multimedia", el cual implica la utilización de múltiples medios (voz, imágenes, animaciones, video) sincronizados por medio de una computadora, con el fin de presentar una cierta información, y además ofrecer la capacidad de interacción con el usuario. Dicho sistema, actualmente está siendo utilizado para

la generación de tutoriales, video juegos (campo en donde se muestran los mayores desarrollos haciéndolos cada vez mas realísticos), simuladores, y fuentes masivas de información (*Hipertextos*), las cuales permiten manejar cantidades enormes de información, y acceder a ellos en pocos segundos. La relativa sencillez en su aplicación y lo poderoso de su tecnología de soporte (*hardware* y *software*), hacen que *Multimedia* sea conveniente para un gran número de aplicaciones. Y esta fue precisamente la razón por la cual se optó por utilizar esta tecnología como soporte para la realización del presente trabajo.

El *plan de trabajo* seguido para desarrollar tal fin, consistió básicamente en tres partes:

Primeramente se recabó la información relacionada con el tema de diseño de motores de inducción trifásicos (textos, artículos, manuales) y se realizó un estudio cuidadoso de dicho material para poder determinar los temas que deberían ser incluidos en esta primera parte del tutorial y la forma mas conveniente en que deberían ser expuestos; es decir, los temas deben explicarse de una manera sencilla, pero lo mas completa posible.

En segundo lugar, se procedió a la recopilación de la información sobre el *sistema Multimedia*, para poder determinar que equipo (tanto *software* como *hardware*) era el mas adecuado para trabajar en la elaboración del tutorial y además tener una idea de las características con la que cuenta esta tecnología. Este es un punto muy importante, puesto que para obtener un mejor rendimiento en el desarrollo de un proyecto, es necesario saber siempre con que herramientas se cuenta y las ventajas y limitaciones de la mismas.

Finalmente, se procedió al desarrollo del tutorial, para lo cual fue necesario trabajar completamente con la computadora, ordenando y estructurando los módulos incluidos en el mismo.

En esta primera parte del tutorial se generaron seis módulos: Principios elementales, construcción, clasificación de motores eléctricos, teoría y características de funcionamiento del motor de inducción trifásico y breve reseña histórica del motor de inducción. Dichos módulos cuentan con animaciones, voz, fotografías y fondo musical.

En lo que concierne al trabajo escrito, este trabajo se encuentra dividido en 6 capítulos y un anexo; el primer capítulo es la presente introducción. Los siguientes cinco capítulos son descritos a continuación:

Capítulo 2. El sistema *Multimedia*.- Aquí se presenta una visión general del significado, elementos que los constituyen, elementos opcionales, y aplicaciones de la plataforma computacional en la cual se desarrollo el tutorial: "*Multimedia*". Con esto se pretende dar una idea del sistema que según los expertos revolucionará el campo de las comunicaciones humanas, y por supuesto mostrar los requerimientos necesarios para poder utilizarla y generar aplicaciones. Se mencionan algunos conceptos relacionados con la tarjetas de audio y video, unidad de CD-ROM, digitalizadores de imagen, y al final se comenta brevemente sobre una nueva tecnología conocida como *realidad virtual*, la cual se puede concebir como el futuro de *multimedia*.

Capítulo 3. Teoría y características básicas del motor de inducción.- En este capítulo se presenta la teoría de funcionamiento, construcción, aplicaciones y conceptos fundamentales (deslizamiento, curva par-velocidad, clases de diseño, etc.) que deben ser manejados antes de iniciar el diseño de un motor de inducción trifásico. También se incluyen las leyes básicas de la teoría electromagnética (Ley de Faraday, Ampere y Lenz) a modo de recordatorio, puesto que son la base fundamental del diseño de cualquier máquina eléctrica.

Capítulo 4. Metodología general de diseño.- En este capítulo se presentan conceptos relacionados con el diseño de los motores de inducción trifásicos y principalmente se expone la metodología de diseño seguida. Cabe aclarar que un diseño completo involucra aspectos térmicos, dieléctricos, mecánicos y electromagnéticos. En este trabajo únicamente se presentan los aspectos relacionados con el diseño electromagnético del motor, sin profundizar en desarrollos matemáticos de la ecuaciones presentadas. La idea del capítulo es la de presentar una visión general del proceso de diseño del motor, haciendo énfasis en las consideraciones que se deben de tomar en cuenta a la hora de seleccionar los parámetros críticos del motor (dimensiones de los dientes del estator y rotor, selección del número de ranuras, selección del tipo de devanado, etc.)

Capítulo 5. Estructura y desarrollo del tutorial.- Aquí se hace una descripción del *software* y *hardware* comercial utilizado en la elaboración del tutorial, dando algunos consejos y recomendaciones para su uso. Se muestra a grandes rasgos como se encuentra estructurada esta primera parte del tutorial, y se explica el contenido de cada modulo incluido en el mismo. Finalmente se mencionan algunas ventajas y desventajas de los

cursos por computadora. Con éste capítulo se pretende dar una visión general de los elementos y problemas que involucra la realización de un tutorial de este tipo.

Capítulo 6. Conclusiones. En esta parte se presentan las conclusiones del trabajo realizado.

Anexo. En la parte final de este trabajo se presenta un anexo en donde se incluyen una serie de pantallas que son parte de varios módulos del tutorial desarrollado, con el fin de que el lector se de una idea de la forma en que los conceptos son presentados dentro del mismo.

CAPITULO 2

El Sistema Multimedia

2.1 ¿QUE ES MULTIMEDIA?

Para dar una buena definición de Multimedia se requiere ante todo que se comprenda el concepto en sí, para lograrlo, dividiremos la palabra en sus dos componentes, y de esta forma encontramos una primera visión de su significado.

MULTI = Más de uno, muchos.

MEDIA = Un método de almacenamiento o de entrega de información/data.

La primera parte de la palabra "**MULTI**", es fácil de entender, así que concentraremos nuestra atención en la segunda palabra, "**MEDIA**".

La palabra "**MEDIA**", data de tiempos tan remotos como la primera pintura rupestre en donde el hombre de las cavernas trazó su primera pintura y transformó esa cueva en un dispositivo de almacenamiento, y la imagen dibujada se transformó en "**MEDIA**". Cuando el cavernícola presentó el dibujo a sus compañeros nació la primera presentación "Multimedia"; una combinación de presentación verbal (audio) y de dibujos primitivos (imagen).

A través de la historia, tanto el almacenamiento como la entrega "**MEDIA**" se han superado. Al principio llegó el lenguaje y luego vino la impresión para capturar la palabra hablada y convertirla en un registro permanente. Conforme la tecnología fue avanzando, se hallaron nuevos métodos para ofrecerle al mundo la posibilidad de enviar casi simultáneamente el mismo mensaje a mucha gente y esto fue a través de la radio y más adelante por medio de la TV.

A pesar de todos estos avances, ningún suceso ha causado un impacto tan grande en los últimos 30 años como la aparición de la computadora, pues ofrece una gran posibilidad de almacenamiento de datos, de procesos y enorme flexibilidad.

Las computadoras fueron algunos de los primeros dispositivos tecnológicos que fusionaron una variedad de entregas "MEDIA" tales como el audio, video, textos y data (información) en un solo medio de almacenamiento (el disco duro o el blando).

Hasta este punto, podríamos definir a la palabra "Multimedia" como una combinación de textos, gráficas, animación, sonido, video estático ó video en movimiento. Desde esta perspectiva, un programa de televisión o una presentación que utilice la combinación de una pista de audio con música y voz, más una serie de imágenes fijas (fotografías, dibujos o letreros) pueden ser categorías de Multimedia. Por lo tanto, se puede concluir que fuera del ámbito del procesamiento de datos el concepto de Multimedia ha existido desde hace muchos años; por ejemplo un video clip y una película cinematográfica pueden ser ejemplos de Multimedia. Sin embargo, como término, concepto ó tecnología, la palabra Multimedia sigue evolucionando.

Para la Asociación Mexicana de Multimedia (AMM), Multimedia significa " La interacción de tecnologías e industrias (sistemas de radio difusión e industrias de imágenes en movimiento con la industria de publicación e impresión y la industria de la comunicación)".

Actualmente, debido a la interactividad que nos ofrecen las computadoras, el concepto de Multimedia ha tomado un significado un poco diferente.

Cuando examinamos los "medios" que nos entretienen, informan o educan hoy en día, notamos que en su mayoría son "estáticos". El término "estático" se refiere a la capacidad del "medio" informativo de emitir su información sin recibir respuesta o retroalimentación por parte del receptor. Por ejemplo: Un libro nos da información a través de su texto y de sus dibujos o imágenes, sin embargo, el libro no puede contestarnos una pregunta. Tampoco podemos requerir información adicional y esperar a que el libro nos la de por sí mismo.

Si escuchamos una estación de radio, estamos recibiendo información de audio y tenemos la facilidad de seleccionar otra estación. Sin embargo, no es posible requerir que la persona que esta al aire nos de información específica en forma instantánea sobre algún tema de nuestro personal interés. ¿Podemos obtener la información requerida de cualquier otra forma? digamos ¿en forma visual? la respuesta es No. Estos "medios" determinan lo que la persona debe

escuchar y cuando lo debe escuchar. La televisión provee audio, video y textos, convirtiéndose en una experiencia de medios múltiples (Multimedia), pero también padece de las mismas limitantes que la radio; determina lo que la persona debe ver y oír, y cuando debe verlo y oírlo. La persona no tiene el control, solo se encuentra involucrada en los niveles mas elementales; es tan solo un observador. La persona no tiene la habilidad para buscar y descubrir información a su propio ritmo y en la forma que lo desea.

Con la combinación Multimedia-Interacción el usuario adquiere el control de lo que se esta viendo (material y tipo de programa) y la forma en que son presentados el audio, el video, textos ó una combinación de todo esto. Mientras el usuario ve la información y descubre algún punto de interés, puede hacer preguntas y hacer selecciones para dirigir el contenido del programa, de tal forma que la entrega de información se adecue a su necesidad y deseo.

Para ejemplificar lo anterior vamos a suponer que se tiene una presentación Multimedia para una agencia de viajes. La presentación incluye, ordenadamente, todos los datos referentes a los viajes que ofrece la agencia. El usuario se ve ante una pantalla y puede "decidir" si desea saber de viajes al extranjero o en México. Tocando la pantalla en el punto señalado, cambia a otra pantalla o secuencia que lo pone, digamos, en la selección de México, con una serie de imágenes, letreros, música y voz. En México puede elegir entre diferentes destinos como ciudades, playas, etc., y de esta forma controlar la información que el quiere recibir.

Pues bien, en conclusión podemos decir que el concepto Multimedia denota una tecnología en la cual se tiene la posibilidad de combinar imágenes, audio, texto y que además se tiene la posibilidad de controlar la información que uno como usuario espectador quiere recibir (interactividad). Aunque es lógico pensar que el concepto "Multimedia" seguirá evolucionando.

2.2. ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE MULTIMEDIA.

Para crear presentaciones Multimedia el elemento principal es obviamente la computadora (PC); sin embargo, dependiendo del tipo y la complejidad del trabajo a realizar, es necesario adicionarle una serie de dispositivos auxiliares (como son tarjetas de audio, video, unidades de almacenamiento masivo, etc.).

Así por ejemplo, si uno requiere tener en su presentación una calidad de sonido muy elevada, será necesario que la computadora cuente con una tarjeta especial de sonido para éste fin; y lo mismo sucedería si uno quiere alta calidad de video.

En el mercado actual existen muchísimas compañías que se dedican a la creación de software y hardware para Multimedia. Sin embargo, no en todas las computadoras corren adecuadamente los paquetes de software comerciales; es por esta razón que en noviembre de 1990 se unieron una gran cantidad de compañías de equipos de software para formar la asociación "Multimedia PC Marketing Council" (MPC).

La MPC creó una especificación para definir los estándares para la tecnología cuyo crecimiento y aceptación puede incrementarse en la década de los noventas. La especificación MPC indica los requerimientos mínimos necesarios de equipo de computación para que una PC pueda ser llamada computadora Multimedia estándar.

Las especificaciones estaban basadas en una computadora con microprocesador 286. No obstante, en diciembre de 1991 la MPC mejoró la base de las especificaciones MPC a una computadora con microprocesador 386 SX.

Las especificaciones mínimas de la computadora MPC se mencionan a continuación:

Requerimientos de Hardware.-

- Una PC con microprocesador 80386SX ó superior.
- 2M de memoria RAM.
- 30 MB como mínimo en disco duro.
- Monitor VGA ó SVGA.
- Mouse con dos botones.
- Teclado de 101 teclas.
- Una unidad de *CD-ROM* que debe ser compatible con las siguientes características:
 - a) Una razón de transferencia mínima de 150 K por segundo.
 - b) Un tiempo de búsqueda máximo de un segundo.
 - c) El drive no puede usar mas del 40% del poder de procesamiento del CPU.
- Tarjeta de audio que como mínimo cuente con las siguientes características:
 - a) Un sintetizador musical
 - b) Un mezclador analógico compatible
 - c) Puerto serie y paralelo

- d) Un puerto para joystick
- e) Audífonos ó bocinas conectados a los sistemas de la computadora (las bocinas pueden requerir fuente de poder).
- f) Un puerto MIDI I/O (la mayor parte de las tarjetas ya contienen este puerto).
- g) Digitalizador de sonido con 8 bits de muestreo y 11 KHz de frecuencia de entrada de muestreo, así como de 11 KHz y 22 KHz de frecuencia de muestreo de salida.

Requerimientos de Software.-

- Microsoft windows 3.1
- MS-DOS o PC-DOS ver 3.1 ó mayor.
- MS-DOS CD-ROM con extensiones (MSCDEX) ver 2.2 ó posterior.

(Cabe aclarar que las especificaciones incluyen un puerto joystick; aunque no es completamente necesario para la integración de presentaciones Multimedia).

En base a la especificación, un logo MPC se anexa a cada elemento que caiga dentro de dicha especificación. Es decir, que cuando uno compra algún producto (de hardware ó software) que venga con ese logo, se estará garantizando que funcionará adecuadamente en cualquier computadora que cumpla con las especificaciones MPC.

2.3. ELEMENTOS OPCIONALES

Además de los elementos mencionados en la MPC, existen bastantes dispositivos auxiliares utilizados para realizar presentaciones Multimedia. A continuación se mencionan algunos de ellos:

2.3.1. DIGITALIZADORES DE IMAGEN (SCANNERS).

Cuando uno realiza una presentación Multimedia, en lo primero que se piensa es en digitalizar imágenes. Para lograr esto es necesario hacer uso de los digitalizadores de imagen, comúnmente llamados scanners.

En forma general, existen dos tipos de digitalizadores de imagen: El **Digitalizador Plano** (parecido a una fotocopiadora) y el pequeño **Digitalizador de Mano**.

Dependiendo del tipo de digitalizador, se pueden digitalizar imágenes tanto a color como en blanco y negro.

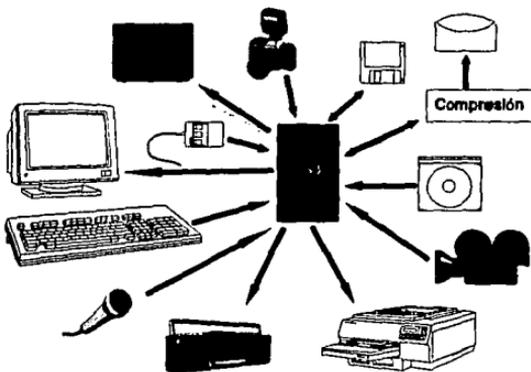


Fig. 2.1. El ambiente Multimedia

Ambos digitalizadores, los planos y los de mano, se conectan a la PC por medio de una tarjeta de hardware que se coloca en las ranuras de expansión de la misma. Para digitalizar una imagen con un scanner de mano, se necesitará pasar solamente una vez sobre la imagen y oprimir el botón de activación.

En el caso de digitalizadores planos, el software del mismo inicia la operación de digitalizar simplemente colocando la imagen en la plancha del scanner y oprimiendo el botón de inicio de manera muy similar a una fotocopiadora. Algunos scanners digitalizan las imágenes en color, si es el caso, el scanner pasará tres veces sobre la imagen, una vez utilizando una luz roja, luego una luz verde y por último una luz azul. Los digitalizadores de blanco y negro utilizan diferentes tonos de gris (llamada escala de grises) para representar adecuadamente la imagen.

En su mayoría los digitalizadores de mano son de blanco y negro (sin embargo existen digitalizadores de mano que pueden procesar hasta 16 millones de colores o 256 tonos de gris).

Un digitalizador debe contar con un software necesario que sea capaz de administrar y controlar todas las operaciones del mismo. En algunos casos, los programas de software de los digitalizadores permiten modificar las imágenes capturadas (ya sea retocándolas ó cambiando sus características). Después de digitalizar la imagen, se puede utilizar el software de digitalización para archivar o imprimir la imagen.

Como ya se mencionó, el digitalizador trabaja de forma muy similar a una fotocopidora. Al aplicar una luz sobre la imagen, los patrones de luz reflejados son captados por una serie de celdas fotosensibles dentro del scanner. Al determinar cómo cada celda es activada, el digitalizador produce una imagen que se transfiere hacia el software de digitalización que se tenga en la computadora.

Existe además un software denominado **OCR (Optical Character Recognition)**, el cual examina una imagen digitalizada y convierte el texto que aparece en la misma en un formato que se puede editar utilizando un procesador de textos (por lo general el software OCR produce un archivo ASCII). La mayoría de los paquetes que existen en el mercado reproducen textos escritos a máquina o textos impresos que aparecen en los libros, ó incluso de un fax; aunque hay algunos más sofisticados que pueden reconocer texto escrito a mano.

El reconocimiento óptico de caracteres (**OCR**) es un proceso difícil; el software que ejecuta ésta tarea es uno de los más avanzados en la industria. El software primero examina la imagen digitalizada para determinar donde podrán empezar y terminar los renglones del texto. Luego el software intenta asociar mapas de bits con segmentos de línea para reconocer un caracter por su forma. Después utilizando un corrector de ortografía, intenta corregir las letras que no pudo identificar. Y por último dependiendo del software se puede hacer una revisión gramatical ó más revisiones ortográficas para asegurarse que el reconocimiento fue correcto.

Otro elemento que también es utilizado para la captura y almacenamiento de imágenes es **La Cámara Electrónica**, la cual toma fotografías como una cámara normal y las almacena como imágenes electrónicas. Utilizando el software de la cámara, se pueden cargar las imágenes en la computadora para imprimirlas, archivarlas e incluso hacerles retoques adicionales.

2.3.2. MONITORES SENSIBLES AL TACTO (TOUCH SCREENS).

Los **Touch Screens** son dispositivos de entrada que vienen a sustituir a los teclados y a los mouse. Este tipo de dispositivos se utiliza en casos en donde se requiere de hacer presentaciones en computadora a individuos que tienen poco ó ningún conocimiento sobre ellas. El individuo contesta las preguntas que le hace la computadora ó navega a través de la información simplemente tocando la parte de la pantalla que se requiera. Debido a su simplicidad de uso, este tipo de monitores se utiliza muy frecuentemente en las presentaciones Multimedia denominadas kioskos^[1].

Los monitores sensibles al tacto pueden ser de dos tipos:

a) Monitores sensibles al tacto para propósitos especiales.- Contienen sensores táctiles construidos dentro del display. Estos monitores están especialmente construidos para medios ambientes de pantallas táctiles.

b) Monitores con recubrimiento (overlay).- Son aquellos a los cuales solamente se les coloca el recubrimiento sobre su pantalla, y se comunican al CPU por medio del puerto serial.

Una desventaja de los monitores sensibles al tacto, es que no presentan una alta precisión al apuntar comparada con la de un *mouse*.

2.4. CD-ROM.

CD-ROM son las siglas de compact disc-read only memory (Disco Compacto de Memoria de sólo lectura). El CD-ROM es muy similar a un disco compacto normal, solamente que el formato utilizado para almacenar la información de archivos con extensión Multimedia es diferente al formato utilizado para almacenamiento convencional de música (sin embargo, en el mercado existen algunos programas de software, tales como el *Media player*, que nos permiten escuchar música de un compact disc convencional en la computadora).

[1] Un kiosko es una presentación multimedia que se realiza en algún dispositivo que no tiene forma de computadora; es decir, todos los componentes se encuentran ocultos dentro de un armazón y el usuario solamente ve un monitor donde se presentan las imágenes.

Como su nombre lo indica éste es un dispositivo de sólo lectura, en el cual el usuario solamente puede ver y escuchar lo que se tenga grabado, pero no se puede modificar.

La forma en que se graba un CD-ROM es muy similar a la usada en los compact disc convencionales; la información se almacena de una manera digital por medio de pequeños surcos que se maquinan en la cara superior del disco; de tal forma que una superficie plana representa un cero lógico (0) y un surco representa un uno lógico (1). La información es leída por medio de un rayo láser muy preciso.

Un CD-ROM normal puede almacenar hasta 600 MB de información y puede ser de dos tipos: del tipo externo ó del tipo interno, la única diferencia está en que uno se puede colocar dentro del cajón del CPU (ver figura 2.2.). Además una unidad de CD-ROM por lo general esta provista con un puerto para audífonos.

Una característica muy importante de un equipo CD-ROM es su tiempo de búsqueda. Esto se refiere al tiempo que tarda el dispositivo en acceder a la información en el disco y mandarlo hacia el exterior. Un tiempo de búsqueda aceptable puede ser en promedio de un segundo ó menos.

Otra característica importante es la razón de transferencia de datos, la cuál se refiere a la velocidad con la que el dispositivo transfiere los datos. Una razón de transferencia de datos aceptable es de al menos 150 Kb por segundo.

Cuando se instala un CD-ROM en una PC, se requiere, al igual que en el caso de las tarjetas de audio y video, un programa controlador^[2] (driver) para que la computadora lo pueda reconocer y manejarlo adecuadamente. Dicho controlador deberá ser compatible con el sistema operativo utilizado.

[2] Un controlador es un programa de software especialmente realizado para controlar las funciones de algún dispositivo externo conectado al CPU.

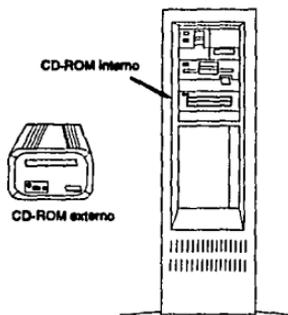


Fig. 2.2. Tipos de unidades de CD-ROM

2.4.1. TIPOS DE CD.

Un compact disc puede contener diferentes tipos de datos, incluyendo audio, video e información varia. Las especificaciones que describen las características físicas del disco fueron desarrolladas por Philips y Sony.

Las especificaciones fueron definidas por medio de colores para cada disco.

1) **Libro rojo.**- Este es un típico disco de audio estándar. El estándar indica que la frecuencia de muestreo es de 44.1 KHz con una muestra de 16 bits.

2) **Libro amarillo.**- Este es el estándar para el conocido CD-ROM que contiene información leída por la computadora y típicamente se etiqueta como " Almacenamiento de datos ". Este el tipo de disco más utilizado para las aplicaciones Multimedia. El disco puede contener múltiple información y datos, adicionando textos; pero una desventaja es que solamente puede leer un tipo de dato a la vez (audio ó video).

3) **CD-ROM/XA.**- Es una extensión del estándar amarillo, que incorpora la capacidad de combinar datos de audio y video en un solo track.

4) **Libro verde.**- Es el estándar para el disco compacto interactivo ó CD-I el cual fue desarrollado por Philips. Es una tecnología híbrida que permite mandar las imágenes a un televisor. El aparato es capaz de tocar también libros rojos.

5) **Libro naranja.**- Este es el nombre popular para el *compact disc recordable system*. Es llamado CD-R, y se divide en dos partes: La primera parte esta dedicada al disco magneto-óptico en el cual se puede reescribir la información, y la segunda parte abarca al disco óptico WORM (muchas lecturas y una sola escritura), en el cual una vez realizado el disco maestro, éste puede ser leído en cualquier unidad de CD-ROM.

6) **Libro azul.**- Este es el estándar para los discos láser de video. El video disco es una tecnología analógica y por esta razón probablemente sea obsoleto en los siguientes años (algunos aparatos de discos láser incluyen un puerto serie para software de control).

2.5. AUDIO EN LA COMPUTADORA.

Multimedia hace uso de recursos auditivos para sus presentaciones. A continuación se tratan las tarjetas de sonido y algunos detalles técnicos.

Para comenzar podemos definir el sonido como la compresión y descompresión de capas de aire a una frecuencia determinada. El tímpano capta estas vibraciones convirtiéndolas a impulsos eléctricos que el cerebro posteriormente interpreta.

Un transductor como un micrófono, funciona de una manera muy similar, captando las vibraciones y transformándolas a señales eléctricas. No obstante, éste tipo de señales son de carácter analógico y por lo consiguiente son conocidas como "señales analógicas". Las tres principales características de una señal analógica se aprecian en la figura 2.3.

La línea base de la señal proporciona un punto de referencia para medir el sonido, la amplitud se define como el valor máximo que alcanza esa señal, y el período de la señal es la cantidad de tiempo que transcurre entre dos picos sucesivos de la señal.

Como es sabido la amplitud de las señales es la que determina la magnitud del sonido, es decir, mientras mayor amplitud se tenga más fuerte es el sonido.

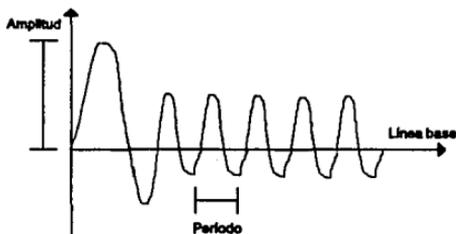


Fig. 2.3. Características de una señal analógica.

Para que una computadora pueda manejar señales analógicas, primero deben de ser transformadas en señales digitales. Para lograrlo es necesario disponer de un circuito convertidor analógico digital (CAD).

La conversión analógica digital consiste en tomar muestras de la señal a una determinada frecuencia, y luego cuantificar cada una de estas muestras en forma binaria. De acuerdo al teorema del muestreo, para tener una alta calidad de muestreo de la señal analógica, la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos el doble de la máxima frecuencia de la señal. Sin embargo, en algunas aplicaciones es factible utilizar frecuencias inferiores. En la siguiente tabla se muestran las frecuencias de muestreo utilizadas por la tarjeta de sonido y la calidad de sonido obtenida:

Frecuencia de muestreo	Calidad de sonido
11.025 KHz	Baja
22.05 KHz	Media
44.1 KHz	Alta

Tabla 2.1. Frecuencia de muestreo y calidad del sonido en tarjetas de audio.

En el proceso de cuantificación de cada muestra de sonido, cada una puede tomar un valor representado por un cierto número de bits. Las tarjetas de sonido comerciales manejan 8 ó 16 bits por muestra. Si se está utilizando un valor de 8 bits, la medición de la muestra de sonido

está en el rango de 0 a 255 (un valor cero indica un valor en la línea base y 255 indica el volumen máximo); y si se utilizan muestras de 16 bits, se puede representar una señal utilizando valores en el rango de 0 a 65535.

De aquí se deduce fácilmente que una señal muestreada de 16 bits es de mucho mejor calidad que una de 8 bits, aunque se lleva una mayor cantidad de memoria de almacenamiento. Si hacemos cuentas sobre la cantidad de memoria que se gasta al archivar una señal de este tipo, nos damos cuenta de que un minuto de audio puede llenar un diskette completo y una hora de sonido de alta calidad llena un disco duro de 300 MB. La tabla 2.2. contiene la cantidad de espacio en disco consumido por minuto en función de diferentes razones de muestreo y tamaños de muestra. Debido a la enorme cantidad de espacio que consumen los archivos de audio, un disco compacto es un dispositivo de almacenamiento obligatorio (como se especifica en la MPC).

Cuando se pretende realizar una presentación Multimedia es necesario decidir entre una alta calidad de sonido y una gran capacidad de memoria ó una calidad aceptable de sonido con menos espacio de memoria. La mayoría de los usuarios encuentran que una muestra de 8 bits con una frecuencia de muestreo de 22.05 KHz da la calidad deseada con un consumo medio de espacio en el disco.

Frecuencia de muestreo	Tamaño de la muestra	Modo	Bytes consumidos por minuto
11.025 KHz	8 bits	mono	661 K
11.025 KHz	8 bits	stereo	1.3 M
11.025 KHz	16 bits	mono	1.3 M
11.025 KHz	16 bits	stereo	2.6 M
22.02 KHz	8 bits	mono	1.3 M
22.02 KHz	8 bits	stereo	2.6 M
22.02 KHz	16 bits	mono	2.6 M
22.02 KHz	16 bits	stereo	5.3 M
44.1 KHz	8 bits	mono	2.6 M
44.1 KHz	8 bits	stereo	5.3 M
44.1 KHz	16 bits	mono	5.3 M
44.1 KHz	16 bits	stereo	10.5 M

Tabla 2.2. Bytes consumidos para diferentes frecuencias de muestreo

2.5.1. TARJETAS DE AUDIO

Aunque en el mercado existen programas de software que ayudan a generar sonidos en la PC, la especificación MPC indica que una computadora debe de tener una tarjeta de audio para poder manejar presentaciones Multimedia (Una "Tarjeta de Audio" es un dispositivo de hardware que se instala en las ranuras de expansión de la computadora).

Cuando se está manejando algún programa de software para generar sonido en la PC, el CPU es el que se encarga de inspeccionar y generar los sonidos. Por esta razón cuando uno genera un sonido, todas las demás funciones se detienen. El uso de una tarjeta de hardware permite liberar al CPU de esta tarea y además da la posibilidad de generar sonidos de mucha más alta calidad.

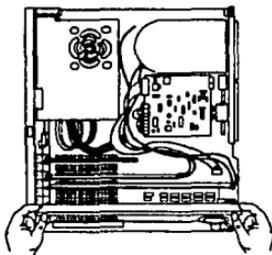


Fig. 2.4. Instalación de tarjetas en las ranuras de expansión de una PC.

Las tarjetas compatibles con la MPC se pueden dividir en tres categorías principales:

- Tarjetas de sonidos monofónicos (como algunas tarjetas sound blaster).
- Tarjetas de sonido estereofónicas (como Sound Blaster Pro16)
- Tarjetas MIDI especializadas. Son tarjetas especiales para manejar elementos MIDI.

Al adquirir una de estas tarjetas, deben tenerse muy en cuenta las necesidades propias del usuario (podemos mencionar, que actualmente existe software especial de reconocimiento de voz, con el cual se facilita la comunicación verbal entre el usuario y la computadora).

2.5.2. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA TARJETA DE AUDIO

Cuando se quiera adquirir una tarjeta de audio, hay que cerciorarse de que contenga todos los elementos y especificaciones indicadas en la MPC. Estos elementos son:

- Un ADC (Convertidor analógico-digital de 8 bits con una frecuencia de muestreo no inferior a 11.025 KHz).
- Un sintetizador de música que soporte la sintetización de 4 a 9 instrumentos.
- Un puerto para micrófono.
- Un puerto MIDI opcional.
- Una interfase opcional para conectarse a la unidad de CD-ROM.
- Capacidad de mezcla de audio analógico en la misma tarjeta.

ADC.- Un convertidor analógico digital (ADC) es un circuito electrónico que transforma señales analógicas en señales digitales, por medio de muestreos que se toman de la señal analógica que posteriormente son cuantificados con valores binarios.

MIDI.- MIDI son las siglas de Musical Instrument digital interface (Interfase digital para instrumentos musicales). En términos generales, MIDI es una especificación que define los estándares para cables y puertos que conectan aparatos musicales a la computadora y el conjunto de reglas que controlan el intercambio de mensajes entre la PC y los elementos MIDI. La especificación MIDI también define los mensajes intercambiados entre un dispositivo y la computadora (las reglas que gobiernan un intercambio de mensajes se conoce como protocolo).

Las mayoría de las tarjetas, cuentan con un puerto MIDI el cual permite conectar instrumentos electrónicos a la computadora (los instrumentos MIDI pueden ser teclados electrónicos, guitarras, tambores, saxofones, etc.).

El funcionamiento de un dispositivo MIDI consiste en enviar mensajes a la computadora sobre los sonidos que son generados. Así por ejemplo, cuando se oprime la tecla "do" en un teclado MIDI, el teclado envía un mensaje a la PC informándole de la tecla oprimida, cuando la tecla se suelta se envía un segundo mensaje. Para poder grabar y reproducir sonidos desde un dispositivo MIDI, es necesario contar con componentes adicionales como son: un secuenciador y un sintetizador.

Secuenciador.- Un secuenciador es un dispositivo que le permite grabar, editar o reproducir sonidos MIDI. Antiguamente los secuenciadores eran dispositivos de hardware, pero actualmente estos se están sustituyendo por dispositivos a base de software.

Sintetizador.- Es un dispositivo que convierte las representaciones de sonido digital en su equivalente analógico.

El sintetizador reproduce los sonidos grabados desde un dispositivo a otro. Por ejemplo, una canción que se grabó utilizando un teclado MIDI puede fácilmente reproducirse como una flauta ó como un saxofón. Los diferentes sonidos que puede reproducir un sintetizador se conocen como los *programas del sintetizador*. Cambiando los programas, cambian los sonidos.

El término *polifonía* describe el número de notas que un sintetizador puede tocar simultáneamente. En el mercado actual existen dos tipos de sintetizadores más comunes: El *de nivel básico* y el de *nivel extendido* (ver tabla 2.3.).

TIPO DE SINTETIZADOR	NOTAS QUE PUEDE TOCAR	CANTIDAD DISTRIBUIDA
Instrumentos melódicos	Básico 6 notas	3 instrumentos
	Extendido 16 notas	9 instrumentos
Instrumentos de percusión	Básico 3 notas	3 instrumentos
	Extendido 16 notas	8 instrumentos

Tabla 2.3. Tipos de sintetizadores.

Como se observa en la tabla anterior: un sintetizador de nivel básico, soporta tres instrumentos y maneja una polifonía de 3 ó 6 notas dependiendo del tipo de instrumento que se

este tocando, y uno de nivel extendido soporta hasta 9 instrumentos con una polifonía de 16 notas.

El término timbre distingue los tonos que diferencian una voz (o instrumento) de otro. Un sintetizador puede reproducir timbres de dos maneras:

- a) En primer lugar el sintetizador puede producir los timbres utilizando un conjunto de tonos programados para un instrumento específico.
- b) En segundo lugar el sintetizador puede utilizar grabaciones reales de los instrumentos, aunque obviamente éste método es más costoso.

Además de lo anterior, una tarjeta de audio por lo general contiene puertos de entrada para estéreo y micrófono. También contiene puertos de salida (estéreo o monoral) para poder conectar las bocinas o audífonos.

Algunas tarjetas de audio incluyen un puerto en donde se conecta un conector SCIS (Small Computer System Interface), que sirve para conectar directamente la tarjeta de audio a la unidad de CD-ROM, obteniendo la ventaja de que se puedan tocar los Compact-Disc directamente del CD-ROM a la tarjeta sin pasar por el CPU.

2.5.3. ARCHIVOS DE AUDIO

Existen básicamente tres tipos de archivos de audio:

- a) Archivos de forma de onda (Wave form). Los cuales contienen información de voz, música ó de ambas a la vez.
- b) Archivos MIDI. Son archivos que contienen toda la información que describe las notas que deben ser tocadas por un sintetizador. Estos archivos tienen la ventaja de ser mucho mas pequeños que los de extensión .WAV, pero solamente pueden contener música.
- c) Archivos del CD-ROM. Los cuales son los tocados por el CD-ROM.

2.5.4. INSTALACIÓN DE TARJETAS DE AUDIO

En el momento de la instalación de la tarjeta pueden surgir algunos problemas, como por ejemplo, que el programa de instalación solicite valores para IRQ y DMA. A continuación explicaremos brevemente cada uno de ellos:

IRQ.- Es la abreviación de Interrupt request (petición de interrupción). Algunos dispositivos en la computadora, tales como la unidad de disco o la tarjeta de audio, son capaces de realizar una serie de tareas sin la intervención de la CPU. Sin embargo, periódicamente estos dispositivos deben de interrumpir a la CPU y pedirle que ejecute algún proceso para ellos. Para interrumpir a la CPU, estos dispositivos le envían señales mediante canales llamados *líneas de petición de interrupción (interrupt request lines)*. Cada dispositivo utiliza su propia línea. Cuando se instale una tarjeta de sonido se debe de seleccionar una línea de petición de interrupción que no sea utilizada por otro dispositivo. Si dos dispositivos tratan de utilizar la línea al mismo tiempo, el sistema probablemente se bloqueará.

La siguiente tabla contiene la configuración más común de las IRQ para computadoras con microprocesador 286 y superiores.

DMA.- Para enviar grandes cantidades de datos a los dispositivos de alta velocidad, la PC tiene dos opciones: la primera es que el CPU inspeccione y transfiera los datos hacia los dispositivos, y la segunda que cada dispositivo accese directamente a memoria (DMA). Algunas PC cuentan con un chip llamado DMA (Direct Memory Access) para ejecutar la transferencia de datos.

Debido a que varios dispositivos requieren transferir datos al mismo tiempo, la computadora proporciona muchos caminos para hacerlo (llamados canales DMA). Entonces un canal DMA, es una vía de alta velocidad para datos, que puede ser utilizada para transferir datos hacia o desde un dispositivo.

Al igual que las líneas IRQ, se debe de seleccionar un canal DMA cuando se instale la tarjeta de audio. Aunque es muy posible asociar dos dispositivos a un mismo canal, debe asegurarse de que la asignación sea tal que los dispositivos no traten de utilizar el canal al mismo tiempo.

IRQ	Dispositivo
0	Reloj
1	Teclado
2	En cascada
3	COM 2
4	COM 1
5	LPT2
6	Controlador de disco flexible
7	LPT1
8	Reloj con hora actual
9	Red de microcomputadoras
10	Disponible
11	Disponible
12	Ratón para PS/2
13	Cooprocesador matemático
14	Controlador de disco duro
15	Disponible
NMI	Paridad

Tabla 2.4. Configuración común de IRQ para computadoras 286 y superiores

Canal DMA	Utilización
0	Disponible para transferencia de 8 bits
1	Disponible para transferencia de 8 bits
2	Controlador de disco flexible
3	Disponible para transferencia de 8 bits
4	Cascada para canales DMA del cero al tres
5	Disponible para transferencias de 16 bits
6	Disponible para transferencias de 16 bits
7	Disponible para transferencias de 16 bits

Tabla 2.5. Asignaciones comunes a canales DMA.

2.6. IMAGEN EN LA PC

Comenzaremos analizando el funcionamiento básico de un monitor de computadora: El monitor de computadora es un tubo de rayos catódicos, y la pantalla se puede decir está conformada por pequeños puntos elementos de imagen llamados píxeles. El número de píxeles en la pantalla define la resolución. Es decir, entre mas píxeles tenga la pantalla habrá una mejor calidad en las imágenes presentadas. Las resoluciones para algunos monitores comerciales son:

CGA - 200 x 640 píxeles
EGA - 350 x 640 píxeles
VGA - 480 x 640 píxeles
SVGA - 768 x 1024 píxeles

En un monitor a color cada píxel esta formado por tres pequeños puntos fosforescentes que cuando encienden iluminan en rojo, verde o azul. El monitor entonces contiene 3 cañones electrónicos, uno para iluminar cada color.

Para presentar una imagen en la pantalla el haz de electrones disparado por el cañón debe de pasar por cada uno de estos píxeles, o lo que es lo mismo debe de barrer la pantalla. Los monitores por lo general barren la pantalla de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. Para evitar parpadeos en la imagen, los monitores EGA y VGA reactivan la pantalla de 60 a 70 veces por segundo.

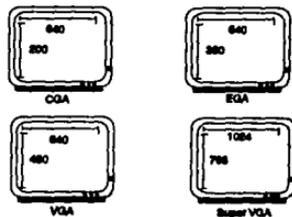


Fig. 2.5. Resolución en monitores de computadoras

La computadora despliega una imagen que en realidad reside en la memoria de video (VRAM). Los programas colocan información en la memoria de video y la tarjeta de video del monitor se encarga de que esta se despliegue. De tal manera que para cambiar el contenido de la imagen en la pantalla, basta con que el programa cambie el contenido de la memoria de video.

Para generar en la pantalla una imagen fija, basta con almacenar en la memoria de video la cantidad de información que se requiera. En el caso de una imagen digitalizada, cada pixel puede llegar a tomar hasta 24 bits, y una imagen monocromática puede tomar entre 50 y 100 Kb de almacenamiento dependiendo de la efectividad del algoritmo de compresión. Una imagen a color tomará lógicamente mucha mas cantidad de memoria.

Al hablar sobre los tipos de archivos de imágenes, se puede decir que existen básicamente dos tipos:

- Archivos de mapas de bits.- En donde varios bits agrupados en la memoria de la computadora definen la intensidad y color de cada pixel de imagen (pueden tener extensiones BMP, DIB, RLE, TIF, PCX, etc.).

- Archivos de vector gráfico.- Son imágenes que son almacenadas por medio de grupos de instrucciones, y son usados cuando se trabaje con imágenes que requieren cambiar de tamaño constantemente (pueden tener extensiones CGM, WPG, DXF, GED, etc.)



Fig. 2.6. Transferencia de datos hacia un monitor

2.6.1. VIDEO Y ANIMACIÓN EN LA COMPUTADORA

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, es un poco difícil conseguir que aparezcan imágenes en movimiento en la computadora. Por ejemplo, supongamos que queremos desplegar video en movimiento a razón de 30 cuadros por segundo utilizando un monitor VGA de 640 x 480 pixeles que soporta 250 colores. Cada cuadro de video requiere mas de 3 MB, puesto que requerimos 30 cuadros por segundo, la PC tendría que manejar 9 MB de información por segundo; de tal forma que para poder desplegar la imagen en la pantalla se necesitarían manejar 600 MB por

minuto en la tarjeta de video. A pesar de estos inconvenientes, actualmente existen dos técnicas para crear animación en la computadora.

a) Frame animation.- La cual consiste en generar cada uno de los cuadros que conforman la animación (algo así como una caricatura) y luego presentar una a una en secuencia a una cierta velocidad para dar la apariencia de movimiento.

b) Cast animation.- Es el proceso de diseñar todos los objetos en movimiento en forma separada y asignar rasgos característicos de cada objeto. Los rasgos característicos se refieren a la posición inicial, tamaño y colorización de los objetos. Los marcos están compuestos por cada objeto y la animación se consigue mostrando en una rápida sucesión todos estos marcos (los marcos intermedios son generados por el software de animación).

Al igual que en el caso de la animación, para reproducir video en la computadora, se requiere hacer uso de algunas técnicas especiales:

- a) Técnica de software.- La cual permite desplegar video de hasta 15 cuadros por segundo (FPS) en una ventana pequeña. Generalmente esta técnica emplea compresión e intercalación para mover grandes cantidades de datos.
- b) Técnica de túnel analógica.- La cual permite a las señales de video provenientes de algún aparato o receptor (VCR, antenas, etc.) mezclarse con las señales de video de la computadora para que puedan ser visualizadas. Pero ésta técnica tiene el inconveniente de que no soporta ni la captura ni la edición de imágenes.
- c) La tercera técnica utiliza chips de compresión^[1] que se encuentran en la tarjeta de video. Cuando se intenta reproducir video por medio de esta técnica, el video que se reproducirá debe haber sido grabado en base a la misma técnica, es decir utilizando los mismos tipos de chips (generalmente los chips de grabación comprimen la información, mientras que los chips en la tarjeta de video la expanden).

[1] Las técnicas de compresión se basan en la gran cantidad de redundancias que presentan las señales analógicas.

2.6.2. TARJETAS DE VIDEO

Una tarjeta de video es un dispositivo de hardware que sirve para capturar y reproducir imágenes de video ó únicamente reproducir imágenes de video en la PC, utilizando alguna técnica especial.

Básicamente podemos hablar de dos tipos de tarjetas de video que se encuentran en el mercado:

1.- Tarjetas de captura de simples marcos (Single-Frame capture).

Las cuales permiten grabar solamente un cuadro de algún dispositivo de entrada como un video disco o una videocassetera y almacenarla en el disco duro. Estas tarjetas trabajan en conjunción con las tarjetas gráficas de la PC y se conectan a ellas por medio de un conector especial. El conector permite a las tarjetas trabajar conjuntamente (Ej. Video Blaster, Computer Eye Board).

2.- Tarjetas de tiempo real (Real time)

Pueden capturar imágenes con movimiento completo a razón de 15 y 30 cuadros por segundo usando técnicas de compresión de video.

También existen tarjetas que sincronizan las señales VGA con las señales de video permitiendo desplegar la imagen en una ventana de la computadora. Sin embargo estas no permiten manipular ni almacenar la imagen.

2.6.3. ESTANDARES DE VIDEO

Como se ha mencionado, un solo segundo de video puede llevarse cerca de 33 MB de espacio en el disco; para resolver los problemas de almacenamiento, se han utilizado algunas técnicas como son reducir el tamaño ventana de reproducción, reducir el número de cuadros por segundo, ó utilizando técnicas de compresión de archivos. La compresión de archivos puede ser realizada de dos diferentes formas: con software únicamente ó con software y hardware. **CODEC** (Compression/Descompression) es el término que describe una serie de estándares usados en la compresión, captura y reproducción de video. A continuación se mencionan los estándares más importantes de video:

NTSC (National Television Standard Committee).

Es un estándar establecido para las señales de video en norte américa. Todas las señales de video en U.S. y gran parte de América obedecen a éste estándar.

PAL.

Es un sistema equivalente al NTSC, pero se ocupa en Europa. Infortunadamente estos formatos son incompatibles y se requieren diferentes versiones de hardware para cada estándar.

Quick Time.

Es la técnica de reproducción de video Codec. La tecnología fue desarrollada por Apple para su Macintosh, y nos permite el uso de video escalable^[4]. La tecnología de Quick Time también se ha desarrollado para que pueda ser reproducida por una MPC.

AVI (Audio video interactive).

Es una tecnología desarrollada por microsoft para reproducir video en ambientes de windows (esta tecnología no requiere utilización de Hardware especial para reproducir video).

DVI (Digital Video Interactive).

Es una tecnología de hardware y software desarrollada por Intel para la captura y reproducción de video en movimiento completo. Como tiene un hardware muy especial, la DVI puede obtener grandes razones de compresión (150:1).

Indeo, es el término utilizado para denominar a la tecnología de compresión de video escalable de Intel y permite reproducir video de una gran cantidad de plataformas (esta es soportada tanto por *Windows* como por *Quick time*).

^[4] El término escalable se refiere a la facilidad de cambiar el tamaño de una cierta imagen.

JPEG (Joint Photographics Expert Group).

Es el estándar para la compresión de imágenes fijas.

MPEG (Motion picture Expert Group).

Es el estándar para la compresión de imágenes en movimiento (podemos mencionar que el algoritmo de MPEG está siendo incluido en numerosos chips de procesamiento de señales digitales (DSP)).

2.7. APLICACIONES

En décadas recientes el ritmo de desarrollo en computación y telecomunicaciones ha sido tan veloz y las aplicaciones finales se han multiplicado de tal manera, que los expertos afirman que la era de la información será una fuerza determinante para el diseño del futuro.

De tal forma que es de esperarse que ésta tecnología computacional (*Multimedia*), que apenas se encuentra en una etapa de desarrollo, llegue a ser tan fuerte que pronto podrá ser integrada en cualquier sector que uno desee.

Una aplicación del sistema es el conocido "*Hipertexto Interactivo*". Lo cual no es otra cosa mas que un sistema en donde se tienen grandes cantidades de información (presentada en forma muy amigable), y en las cuales el usuario tiene la posibilidad de navegar a través de ésta y poder elegir, en el momento que decida, el tópico seleccionado. Así por ejemplo, podemos decir que existen algunas universidades y centros de investigación en donde la investigación bibliográfica se busca en base a este sistema, y el usuario obtiene la información de una forma muy práctica.

También con el sistema Multimedia es muy factible la elaboración de tutoriales por computadora, en donde el usuario tiene la oportunidad de poder interactuar directamente con la computadora y recibir de una manera muy amigable la información deseada. Con respecto a éste punto podemos decir que esos cursos son utilizados tanto en el sector industrial (como los cursos de capacitación, en donde es factible simular situaciones de la vida real y medir los progresos del aprendizaje) como en el sector educativo, en donde se han logrado grandes avances en relativamente poco tiempo.

Otra aplicación que actualmente esta cobrando mucha fuerza, es la de la creación de interfaces Multimedia en los procedimientos de control por computadora. Este tipo de interfaces consisten en hacer mas amigable la pantalla de monitoreo de algún proceso en específico, de tal forma que sea mas sencillo controlar los procesos en tiempo real y que no se requieran arduas horas de capacitación de personal para manejar las estaciones de monitoreo.

Sin duda alguna podríamos seguir mencionando innumerables aplicaciones de ésta tecnología, de las cuales algunas son ya conocidas y otras todavía les falta ser explotadas. Tal es el caso de la implantación de Multimedia en redes de computadora, en donde por algunos detalles técnicos, aún no se ha podido lograr completamente un buen desarrollo^[5].

Sin embargo, el principal problema para implantar Multimedia en una red, es la gran cantidad de información que se requiere para manejar adecuadamente todos lo tipos de datos (audio, video, texto), cosa que al ser enviada por un canal de transmisión produce retardos de tiempo que son inaceptables para una buena comunicación.

En base a lo anterior, podemos decir que las aplicaciones de la tecnología **Multimedia** pueden extenderse a casi todos los sectores en donde se requiera de un sistema mas efectivo para presentar información.

Existe además un sistema de "multimedios", el cual es un poco diferente al sistema multimedia tratado anteriormente. Esta nueva tecnología es conocida como realidad virtual, y a continuación se menciona algo al respecto.

2.8. REALIDAD VIRTUAL

Aun cuando hoy en día se han logrado impresionantes avances dentro del ambiente multimedia, lograr romper la barrera de las dos dimensiones requiere de un cambio de enfoque en la manera de transmitir la información. La **realidad virtual** es una nueva tecnología que nos permite introducirnos dentro de un ambiente tridimensional generado por la computadora, en donde la persona puede incluso sentir y escuchar todo lo que sucede en ese mundo **virtual** generado.

^[5] La implantación de **Multimedia** en una red es algo que abrirá totalmente las puertas de la nueva era de la comunicación

La forma natural del cerebro para distinguir profundidad, es a través de la comparación de las imágenes de ambos ojos. Dependiendo de que tanto necesite cerrar ó abrir el ángulo entre ellos para enfocar el objeto, la mente calcula la cercanía. Para lograr que la computadora simule esta sensación, es necesario generar dos imágenes por separado, y presentarlas individualmente a cada ojo. Para lo cual se desarrollo el denominado *Head Mounted Display* (HMD), el cual es un casco que contiene dos pantallas (una para cada ojo). Además el HDM permite (por medio de sensores) medir la inclinación de la cabeza en cualquiera de sus ejes, logrando de esta forma sentir la posición exacta de la misma. Debido a esa característica es factible generar una par de imágenes para cada posición de la cabeza, para dar la sensación de estar dentro de un mundo generado digitalmente.

Para apoyar esta sensación, se incluyó en el diseño el audio direccional. Por medio de calcular la diferencia de tiempo de llegada y el volumen de una señal para cada oído por separado, se logra generar la direccionalidad en el sonido. Es decir, el cerebro puede determinar la dirección específica de donde proviene el sonido, completando con ello la percepción de sumersión tridimensional.

Para poder interactuar con el medio digital, se desarrollo un guante llamado *dataglove*; cuya función es la permitir al usuario tomar, mover y apuntar dentro de un mundo virtual.

Otras funciones que se han desarrollado para el guante son las de tocar lo que está generando la máquina. Esto se logra fundamentalmente a través de dos mecanismos: El primero consiste en una bola que se coloca debajo de la mano que se conecta con una varilla al resto del brazo. De la bola salen una serie de extremidades que se colocan bajo los dedos. Este mecanismo tiene el objeto de restringir el movimiento de la mano, de manera que de una sensación de solidez.

El otro mecanismo es un guante totalmente cubierto por sensores y minúsculas bolsas de aire; la computadora puede grabar la presión ejercida en cada punto de la mano por un objeto real y después reproducirla para dar la sensación de estar tocando el objeto simulado.

A parte del *dataglove* se ha desarrollado un traje para la interacción con el mundo virtual llamado *datasuit*. Esta vestimenta permite que todas las acciones del usuario queden registradas por la computadora, interactuando así de forma completa con el medio artificial.

Otros sentidos que aun no han sido introducidos son el olfato, el gusto y el sentido del equilibrio. El primero porque no hay forma de reproducir los aromas artificialmente y tan solo

se ha podido recurrir a muestrarios de sustancias. El sentido del gusto se ha descartado por que es improbable que el usuario quiera meterse un abultado aparato a la boca. Y por último el equilibrio no se puede manipular externamente haciéndolo poco apropiado para experimentar y comercializar.

2.8.1. CATEGORÍAS DE REALIDAD VIRTUAL

Se puede decir que existen principalmente cuatro categorías de realidad virtual, la cuales son:

Nivel 1.- La relación con la computadora, aún cuando el ambiente es en tercera dimensión, su despliegue final es en un monitor convencional. Lo que se puede observar es un mundo tridimensional visto a través de una ventana bidimensional, sin sensación de profundidad, ni sentimiento de inmersión.

Nivel 2.- La interacción con el mundo tridimensional es a través de un *dataglove*. Aún cuando el despliegue sigue siendo por medio de un monitor, tiene la variante de que se están desplegando dos imágenes diferentes. Las imágenes aparecen encimadas, normalmente en colores diferentes para ser filtradas al ojo correspondiente por medio de unos lentes especiales.

Nivel 3.- El despliegue es por medio de un *HMD* y se cuenta con un *dataglove* y un *datasuit*. Esta categoría se denomina de inmersión total, ya que todo el cuerpo interactua con el medio y hay una sensación de estar sumergido dentro de otra realidad.

Nivel 4.- Aquí la interacción se da con el medio ambiente, sin más aparatos que unos lentes especiales. La computadora toma información por medio de sensores colocados en diferentes partes de la habitación y genera imágenes que se suman ó sustituyen al medio exterior. Son conocidos como medios ambientales pero su desarrollo está aún en pañales.

CAPITULO 3

Teoría básica y características del motor de inducción trifásico.

3.1. GENERALIDADES

Los ingenieros denominan máquinas eléctricas a los motores y generadores eléctricos. Las máquinas eléctricas convierten la energía eléctrica en energía mecánica ó la energía mecánica en energía eléctrica. Cuando la conversión es de eléctrica a mecánica se denomina motor. Cuando la conversión es de mecánica a eléctrica se denomina generador.

Los motores eléctricos desempeñan un papel muy importante proporcionando potencia para distintos tipos de aplicaciones como son: domésticas, comerciales e industriales. Su enorme versatilidad y economía de operación prácticamente no puede ser igualada por ninguna otra forma de potencia en movimiento. La operación de motores eléctricos representa aproximadamente el 62 % del consumo total de energía del país.

Podemos hablar básicamente de los siguientes tipos de motores eléctricos:

- a) Motores de corriente directa.
- b) Motores síncronos de corriente alterna.
- c) Motores de inducción de corriente alterna.

Los motores de corriente alterna a su vez pueden subdividirse en motores monofásicos y motores polifásicos.

En éste caso, nuestro estudio está enfocado a los motores de corriente alterna de inducción, y en particular al motor de inducción trifásico.

3.2. RESEÑA HISTÓRICA

Las ideas fundamentales detrás de los motores de inducción se desarrollaron a finales de la década de los años ochentas en el siglo XIX por Nicola Tesla, a quien se le otorgó la patente por sus ideas en 1888. La primera aplicación a gran escala del sistema polifásico de corriente alterna de Tesla fue la planta hidroeléctrica de las cataratas del Niágara, puesta en marcha en 1895.

Aunque la idea básica del motor de inducción se describió en 1888, la supuestamente reconocida forma moderna del motor se logró entre 1888 y 1895. Durante éste período, se desarrollaron fuentes de potencia de dos y tres fases (para producir los campos magnéticos giratorios del motor), los embobinados distribuidos y los rotores de jaula de ardilla.

Los motores de inducción trifásicos, completamente funcionales y reconocidos, estuvieron disponibles en el comercio y en la industria durante 1896.

Desde entonces, hasta los comienzos del año 1970, continuó la mejora de la calidad del acero, las técnicas de fundición, los aislamientos y las características de manufactura de los motores de inducción.

Sin embargo, estos adelantos en el diseño y la manufactura de los motores de inducción no llevaron necesariamente a mejoras en su eficiencia. El principal esfuerzo de diseño se dirigió hacia la reducción de los costos iniciales de los materiales de las máquinas y no hacia el aumento de su eficiencia. Esto sucedió así debido a que en esas épocas la electricidad era poco costosa y el costo primario del motor era el principal criterio para la selección. Hoy en día esto ya no es aceptable, y lo que realmente se busca en un motor es una mayor eficiencia.

Actualmente se están usando varias técnicas para mejorar la eficiencia de este tipo de motores. Entre las cuales tenemos:

- a) Utilización de una mayor sección transversal en el cobre de los devanados del estator para reducir las pérdidas por efecto joule.
- b) Se utilizan aceros laminados con menores niveles de pérdidas intrínsecas, para disminuir las pérdidas totales en la máquina.

c) El rotor se maquina con sumo cuidado, para producir un entrehierro mucho más uniforme, y de esta forma reducir las distorsiones en la onda de densidad de flujo magnético.

d) Las laminaciones del núcleo se hacen con aceros muy delgados para reducir al máximo las pérdidas por corrientes parásitas.

3.3. PRINCIPIOS ELEMENTALES

3.3.1. LEY DE FARADAY

En el año de 1831 Michael Faraday descubrió que cuando un conductor que forma un circuito cerrado se mueve por algún medio mecánico dentro de un campo magnético, genera un voltaje y éste provoca una circulación de corriente.

Este fenómeno es explicado por medio de la siguiente ecuación:

$$\oint E \cdot dl = - \frac{d}{dt} \int B \cdot da$$

Donde:

B = Densidad de campo magnético.

E = Campo eléctrico

dl = Diferencial de longitud alrededor de la superficie a través de la que pasa B

da = Diferencial de área

La cual indica que siempre que se tenga un campo magnético variante en el tiempo, se generará un cierto campo eléctrico en el espacio. Si éste campo eléctrico se genera dentro de un conductor, se producirá una diferencia de potencial, produciendo así una circulación de corriente. Para el caso de estructuras magnéticas que comprendan embobinados, la ley de Faraday puede escribirse como:

$$e_{ind} = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Donde:

e_{ind} = Voltaje inducido

N = Número de espiras

θ = Flujo magnético

Lo cuál significa que el voltaje inducido en una bobina de N espiras de conductor es proporcional a la razón de variación del flujo magnético con respecto al tiempo.

3.3.2. LEY DE LENZ

Basándose en el trabajo de Faraday, Henrich Lenz estableció en el año de 1833 (sólo dos años después del descubrimiento de Faraday) una relación que resulta básica en la transformación de la energía electromecánica.

Esta ley se puede enunciar de la siguiente forma:

"En todos los casos de inducción electromagnética, un voltaje inducido puede causar que circule una corriente en un circuito cerrado, de tal manera que la dirección del campo producido por dicha corriente, se opondrá al cambio del flujo".

Esta ley de hecho es solamente una forma básica de establecer la ley de la conservación de la energía. Es debido a esta ley, que aparece un signo negativo en la ecuación fundamental de la ley de Faraday.

3.3.3. VOLTAJE INDUCIDO SOBRE UN CONDUCTOR MÓVIL EN UN CAMPO MAGNÉTICO

De acuerdo a la ley de Faraday se puede afirmar que: Existe la posibilidad de inducir un voltaje en un conductor, si éste, se mueve con una cierta velocidad dentro de un campo magnético estático. El voltaje inducido se puede cuantificar por medio de la siguiente ecuación:

$$e_{ind} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l}$$

Donde:

V = Velocidad del conductor relativa al campo

B = Densidad de flujo magnético

l = Vector longitud del conductor

Las direcciones entre voltaje, campo magnético y velocidad del conductor, pueden obtenerse de una manera práctica muy simple utilizando la relación de Fleming que nos dice lo siguiente:

Si el campo magnético se considera en un espacio estacionario y el conductor se considera moviéndose en forma ortogonal a través del mismo; la mano derecha se extiende con el dedo pulgar y el índice formando un ángulo recto y el dedo central formando a su vez un ángulo recto con los otros dos, de manera que se forme un arreglo ortogonal.

Con éste arreglo, el campo magnético está representado por el dedo índice, con el dedo pulgar se indica el movimiento del conductor y el dedo medio indica el sentido convencional de circulación de la corriente.



Fig 3.1. Regla de la mano derecha para voltajes inducidos en un conductor.

3.3.4. LEY DE AMPERE

Esta ley es la que rige la producción de un campo magnético debido a una corriente. A menudo esta ley es llamada " Ley circuital de Ampere ", y se representa por medio de la siguiente expresión:

$$\oint H \cdot dl = \int_{\sigma} J \cdot da = I_{net}$$

En donde H es la intensidad de campo magnético, dl es la diferencial de longitud, I_{net} es la corriente neta encerrada por la trayectoria magnética (ver figura 3.2.), J es la densidad de corriente y da es una diferencial de superficie. Esta ecuación establece que la integral de línea de H a lo largo del contorno de una superficie a través de la cual pasa la densidad de corriente J, es igual a la corriente total a través de ella. En otras palabras, indica que cuando una corriente circula por algún conductor, a su alrededor se produce un campo magnético concéntrico a la trayectoria de la misma.

El porque se produce este fenómeno es algo complicado de entender, pero se puede decir que se debe a que cuando una corriente eléctrica circula por un conductor, los electrones libres dentro del mismo, producen cada uno su propio campo magnético en una dirección tal que se obtiene un campo total por la adición de cada uno de éstos campos.

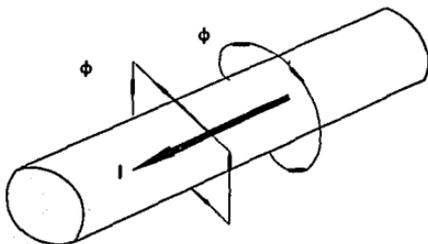


Fig 3.2. Trayectorias de flujo alrededor de un conductor por el cual circula una corriente.

La dirección del campo magnético alrededor de un conductor, por el cual circula corriente, es fácil de recordar utilizando otra regla de la mano derecha (fig 3.3.) que nos dice que " si el

dedo pulgar apunta en la dirección que circula la corriente, entonces los demás dedos indicarán el sentido que tienen las líneas de flujo magnético^[1]

Esta regla se aplica también a los embobinados, y nos dice que *"si los dedos de la mano apuntan en el sentido en que circula la corriente, el dedo pulgar indicará hacia donde se produce el polo norte magnético de la bobina"*.



Fig 3.3. Regla de la mano derecha para la dirección de flujo magnético alrededor de un conductor.

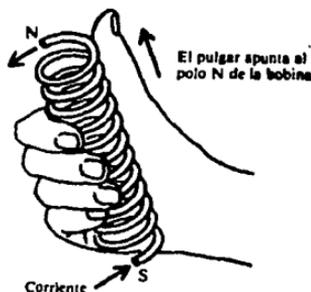


Fig. 3.4. Dirección de flujo magnético en una bobina.

3.3.5. RELACIÓN DE FUERZA DE BIOT-SAVART

Esta se refiere a la fuerza ejercida en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético, y por el cual circula una corriente. La fuerza puede cuantificarse como:

$$F = \oint I (dl \times B) = \int_{vol} (J \times B) dv$$

[1] Es conveniente recordar que todas las reglas de la mano derecha o izquierda mencionadas son aplicables únicamente con el sentido convencional de la corriente.

En donde J se define como la densidad de corriente de convección (A/m^2), y se calcula como el producto de la densidad de carga volumétrica (ρ_v) por la velocidad de las cargas en el conductor.

Para el caso de un conductor recto en un campo magnético uniforme la ecuación anterior puede escribirse como:

$$\vec{F} = i (\vec{l} \times \vec{B})$$

Donde:

- F = Fuerza sobre el conductor
- i = Corriente en el conductor
- l = longitud del conductor
- B = Densidad de campo magnético

Cabe mencionar que F , l y B son cantidades vectoriales. Para poder comprender físicamente como se genera la fuerza en el conductor, observe la figura 3.5.

Cuando una corriente circula por el conductor, alrededor de éste se genera un campo magnético. Las líneas de flujo en la parte superior del conductor se restan a las líneas de flujo de los polos principales. Por el contrario en la parte inferior, las líneas de flujo se suman con las de los polos. Como el campo magnético tiende a permanecer uniforme en un espacio con igual reactancia (aire en este caso), se genera una fuerza mecánica que trata de mover el conductor en la dirección indicada (fig 3.5).

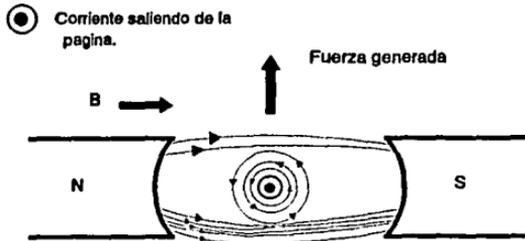


Fig. 3.5. Fuerza generada en un conductor por el cual circula una corriente.

La dirección de la fuerza puede obtenerse vectorialmente de acuerdo a la relación vectorial de Biot-Savart, pero una forma sencilla de recordarla es aplicando la regla de la mano izquierda, que dice:

" Si el dedo índice señala la dirección del vector densidad de flujo magnético, el dedo medio señala la dirección de la corriente, entonces el pulgar indicará la dirección de la fuerza producida ".



Fig. 3.6. Regla de la mano izquierda para fuerza generada en un conductor.

3.4. CONSTRUCCIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFASICO

Un motor de inducción al igual que otros tipos de motores, está formado básicamente por una parte fija (estator) y una parte giratoria (rotor).

El núcleo del estator y los devanados de una máquina trifásica de inducción son exactamente iguales a los de una máquina síncrona. La única diferencia en la construcción de las dos máquinas consiste en el rotor. Entre las partes principales de un motor de inducción trifásico tenemos:

- Núcleo del estator
- Núcleo del rotor
- Devanados del rotor
- Devanados del estator
- Cojinetes
- Eje o flecha
- Ventilador
- Carcasa
- Baleros ó chumaceras

Los rotores en el motor trifásico pueden ser de dos tipos:

- a) Jaula de ardilla
- b) Rotor devanado

En ambos casos, los devanados del rotor se sitúan en las ranuras de hierro laminado montadas en el eje.

En el caso de un rotor devanado, éste se construye a semejanza de los devanados del estator y se conectan por lo general en estrella. Los tres conductores terminales van hacia anillos deslizantes montados en el eje y las escobillas de carbón que van sobre estos anillos deslizantes se conectan juntas en cortocircuito para funcionamiento normal.

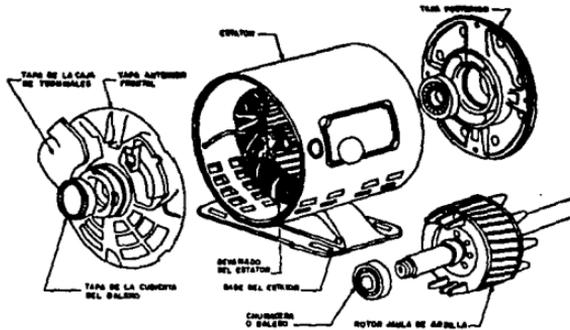
Los devanados de jaula de ardilla del rotor, están formados por barras sólidas de material conductor, alojadas en las ranuras del rotor, y puestas todas en cortocircuito por medio de anillos.

En máquinas grandes, las barras del rotor pueden ser de aleaciones de cobre, alojadas en las ranuras y soldadas con latón a los anillos extremos (ver figura 3.8.).

El principio de funcionamiento del motor de inducción se basa en la acción transformadora, en el cuál el primario es el estator y el secundario es el rotor.

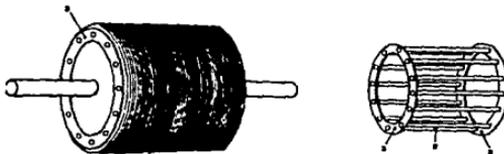
Los materiales eléctricos utilizados en la construcción de los motores de inducción son: En primer lugar, los conductores eléctricos, los cuales comúnmente son de cobre, aunque también debido a sus características el aluminio es utilizado en algunos casos. En segundo lugar, tenemos

a los materiales aislantes, entre los cuales algunos son de origen natural como el papel, algodón, parafinas, etc. y otros sintéticos como el silicón o compuestos a base de silicones.



VISTA DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE UN MOTOR DE INDUCCION

Fig. 3.7. Motor de inducción jaula de ardilla.



ROTOR EN CORTO CIRCUITO DE UN MOTOR DE INDUCCION

- 1- BARRAS DE LAS BARRAS
- 2- DEBARRADO DEL ROTOR
- 3- ANILLO DE CONEXION ELECTRICA DE LAS BARRAS.

Fig. 3.8. Rotor jaula de ardilla de una máquina de inducción.

Las principales propiedades que determinan la factibilidad de uso de un material aislante son: La resistividad o resistencia específica, la tensión disruptiva, la permitividad y la histéresis dieléctrica. Además también hay que considerar las propiedades mecánicas y su capacidad para soportar la acción de los agentes químicos, el calor, etc.

La clasificación normalizada de los materiales aislantes para máquinas eléctricas con relación a su estabilidad térmica cubre básicamente siete clases de materiales aislantes que se usan por lo general. En la siguiente tabla se muestran estas siete clases.

CLASE	TEMPERATURA
Y	90°C
A	105°C
E	120°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C
C	MAYOR A 180°C

Tabla 3.1. Clases de materiales aislantes

El estator de las máquinas de inducción está construido por paquetes de laminaciones troqueladas en donde se alojan las bobinas. Las laminaciones utilizadas tienen un espesor individual del orden de 0.5 mm. La selección del tipo de laminación utilizado para la construcción de los motores de inducción, depende en cierta medida de la potencia nominal del motor; por ejemplo para motores pequeños se usan laminaciones de tipo normal con pérdidas del orden de 3.5 W/kg, pues son relativamente menos costosas. En cambio para motores de media y de gran potencia se usan laminaciones de acero al silicio, con un contenido de silicio del 3% , que tienen pérdidas que no exceden los 2.5 W/kg.

Por lo que se refiere a la forma de las ranuras en el estator, estas pueden ser del tipo abierto (para motores relativamente grandes) ó del tipos semicerradas.

Cuando se usan ranuras semicerradas, las bobinas por lo general se devanan directamente sobre el estator y posteriormente se aíslan. Cuando se utilizan ranuras abiertas, las bobinas se pueden formar y aislar externamente y luego se colocan en el estator.

3.5. TIPOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS

Como ya se mencionó anteriormente, existen básicamente dos tipos de motores de inducción trifásicos, los cuales difieren únicamente en la forma en que se construyen sus rotores.

a) Motores de rotor jaula de ardilla

El llamado motor jaula de ardilla tiene las siguientes ventajas comparado con el motor de rotor devanado:

- 1.- No tiene anillos rozantes, ni dispositivos de puesta en corto circuito; no se requiere reóstato de arranque ni terminales especiales.
- 2.- Su construcción es robusta, compacta y económica.
- 3.- Su eficiencia es mayor.
- 4.- Tienen un mayor factor de espaciamiento entre bobinas y menores pérdidas en el cobre
- 5.- Permiten mayor espacio para ventilación y por lo tanto tienen mejores condiciones de enfriamiento.
- 6.- Posee menor flujo de dispersión, ofrece un mejor factor de potencia y proporciona mayor capacidad de sobrecarga.

b) Motor de rotor devanado.

Los motores de rotor devanado son más caros y su mantenimiento debe ser más cuidadoso; este tipo de motor se utiliza en situaciones en las cuales se requiere de control de velocidad, ó de altos pares de arranque controlados. En la actualidad debido a los grandes avances en el

campo de la electrónica de potencia, éste tipo de motores están siendo desplazados por los de jaula de ardilla.

Los rotores están formados por bobinas de cobre aisladas, semejantes a las usadas en el estator. Comparando con los devanados usados en las armaduras de los motores de corriente directa, se usan preferentemente los denominados del tipo ondulado debido a que ofrecen la ventaja de que se reducen las conexiones entre los grupos de bobinas y permiten un diseño más compacto permitiendo un balance mecánico adecuado.

Los devanados pueden conectarse en delta ó en estrella y las terminaciones de cada fase van hacia el exterior a través de anillos rozantes en los cuales se cierra el circuito de la corriente por medio de escobillas de carbón, de donde se llevan los conductores hacia el réstato de arranque; las escobillas están provistas de un mecanismo de fijación para poder ser removidas y para que sólo hagan la presión necesaria sobre los anillos rozantes; tratando de reducir de esta forma las pérdidas por fricción.

En la actualidad, la gran mayoría de motores de inducción se fabrican con jaula de ardilla y la práctica común en éstos casos, es usar devanados de aluminio fundido.

Posteriormente se analizará como con el simple hecho de cambiar las características de construcción del rotor, podemos obtener una serie de variaciones en la curva Par-Velocidad de la máquina.



Fig. 3.9. Tipos de rotores en motores de inducción.

3.6. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Cuando una espira conduce una corriente en la dirección indicada (ver figura 3.10.) y ésta espira se encuentra dentro de un campo magnético constante, entonces, de acuerdo a la relación de Biot-Savart, sobre ella se producirá una fuerza que lleva la dirección mostrada. Y si tomamos como referencia el eje A, lo que se produjo en la espira fue un par debido a la acción de un campo magnético.

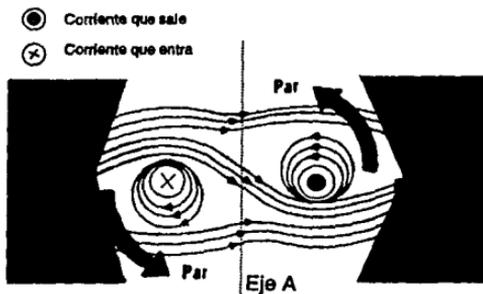


Fig. 3.10. Par generado en una espira conductora.

La explicación física del fenómeno se ilustra a continuación:

- El campo magnético tiene una dirección del polo norte al polo sur.
- En la espira la corriente circulante produce un campo magnético que sigue la dirección dada por la ley de la mano derecha.
- En la parte superior de la espira próxima al polo sur, el campo se opone al principal.
- En la parte inferior de la misma espira los campos se suman y se concentran. Dado que el campo tiende a permanecer uniforme, éste produce una fuerza hacia abajo en el conductor de la izquierda y hacia arriba en el conductor de la derecha provocando así una rotación.

Sin embargo (ver figura 3.10.), nos damos cuenta que la espira girará únicamente hasta que quede perfectamente alineada con el eje A. ¿ Como lograr que la espira adquiera una rotación continua?. Una manera de lograrlo es haciendo girar (en el mismo sentido del par) los polos del imán, de tal forma que la espira siga éste movimiento. En otras palabras, producir un campo magnético giratorio alrededor de la espira.

Ahora bien, si en lugar de una espira conductora ponemos un rotor jaula de ardilla, y alrededor hacemos girar un campo magnético de magnitud constante (Ver figura 3.11.); por medio de la inducción electromagnética se inducirá (de acuerdo a la ley de Faraday) corrientes en cada barra, las cuales establecen su propio campo magnético que gira a la misma velocidad que el campo del estator. Produciendo de esa forma un par constante en la máquina.

Cabe mencionar que aunque el esquema de corrientes inducidas en el rotor gira a la misma velocidad del campo del estator, el rotor no puede girar a esa velocidad; pues de lo contrario no habría corrientes inducidas y por lo tanto no se produciría par.

De acuerdo a lo anterior podemos concluir que para poder generar un par en una máquina cualquiera, necesitamos hacer interactuar dos campos magnéticos; uno procedente del rotor y el otro del estator.

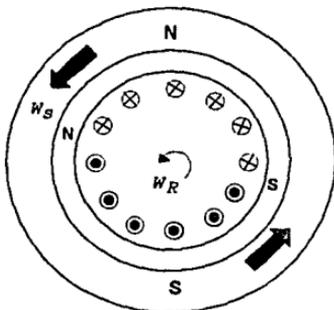


Fig. 3.11. Generación de un par en un rotor jaula de ardilla.

3.7. CAMPO MAGNÉTICO GIRATORIO

El principio básico de funcionamiento de la máquina de inducción consiste en que si un sistema trifásico de corrientes, todas de igual magnitud y defasadas 120 grados entre sí, fluyen en un devanado trifásico, se producirá un campo magnético giratorio de magnitud constante. El devanado trifásico consta de 3 bobinas separadas, que se hallan espaciadas 120 grados eléctricos entre sí.

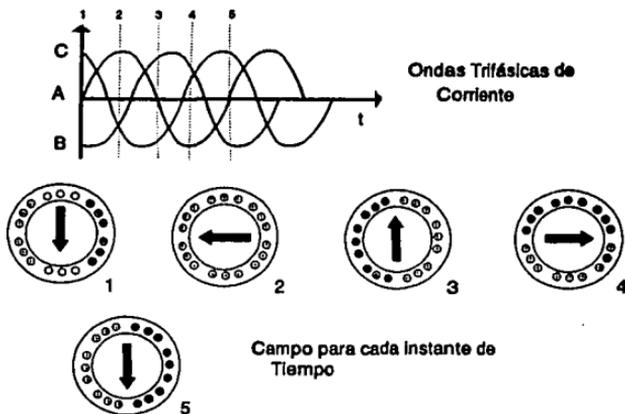


Fig. 3.12. Campo magnético giratorio en un estator trifásico.

DEMOSTRACIÓN:

En la figura 3.12. se muestran las formas de onda de la intensidad de campo magnético producido por las tres fases de corriente alterna (A, B y C), y se representa para cada instante marcado el sentido del campo magnético total (la suma de los campos producidos por cada fase) en la máquina. Con lo anterior probamos la existencia del campo giratorio a partir de un sistema trifásico de corrientes. Matemáticamente se demuestra de la siguiente forma:

Sea χ el vector unitario en dirección horizontal y ψ el vector unitario en dirección vertical; si al estator de la figura 3.12. se le aplica un sistema trifásico de corrientes obtendremos las siguientes densidades de campo magnético:

$$\begin{aligned} B_{aa'}(t) &= B_m \text{ sen}(\omega t) \angle 0^\circ \\ B_{bb'}(t) &= B_m \text{ sen}(\omega t - 120^\circ) \angle 120^\circ \\ B_{cc'}(t) &= B_m \text{ sen}(\omega t - 240^\circ) \angle 240^\circ \end{aligned}$$

El campo magnético resultante es la suma de los tres anteriores:

$$B_{\text{neto}}(t) = B_{aa'}(t) + B_{bb'}(t) + B_{cc'}(t)$$

Descomponiendo cada vector en sus componentes cartesianas:

$$\begin{aligned} B_{\text{neto}}(t) &= B_m \cdot \text{sen}(\omega t) \cdot \chi - [0.5 B_m \text{ sen}(\omega t - 120^\circ)] \cdot \chi + \\ &\quad + [\sqrt{3}/2 B_m \text{ sen}(\omega t - 120^\circ)] \cdot \psi - [0.5 B_m \text{ sen}(\omega t - 240^\circ)] \cdot \chi \\ &\quad - [\sqrt{3}/2 B_m \text{ sen}(\omega t - 240^\circ)] \cdot \psi \end{aligned}$$

Sumando términos de χ y ψ , y aplicando la ley trigonométrica que dice:

$$\text{sen}(u-v) = \text{sen}(v) \cos(u) - \cos(u) \text{sen}(v)$$

Tenemos:

$$\begin{aligned} B_{\text{neto}}(t) &= [B_m \text{ sen}(\omega t) + 0.25 B_m \text{ sen}(\omega t) + \sqrt{3}/4 B_m \cos(\omega t) + \\ &\quad 0.25 B_m \text{ sen}(\omega t) - \sqrt{3}/4 B_m \cos(\omega t)] \cdot \chi + \\ &\quad [-\sqrt{3}/4 B_m \text{ sen}(\omega t) - 3/4 B_m \cos(\omega t) + \sqrt{3}/4 B_m \text{ sen}(\omega t) \\ &\quad - 3/4 B_m \cos(\omega t)] \cdot \psi \end{aligned}$$

$$B_{\text{neto}}(t) = [1.5 B_m \text{ sen}(\omega t)] \cdot \chi - [1.5 B_m \cos(\omega t)] \cdot \psi$$

Cuya magnitud esta dada por:

$$|B_{\text{neto}}| = \sqrt{[1.5 B_m]^2 (\text{sen}^2(\omega t) + \cos^2(\omega t))}$$

Puesto que :

$$\text{sen}^2(\omega t) + \text{cos}^2(\omega t) = 1$$

Tenemos:

$$B_{\text{neto}} = 1.5 B_m$$

El ángulo esta dado por:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(-\frac{1.5 B_m \text{Cos}(\omega t)}{1.5 B_m \text{Sen}(\omega t)} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(-\frac{\text{Cos}(-\omega t)}{\text{Sen}(\omega t)} \right) = \left(-\frac{\text{Sen}(90-\omega t)}{\text{Cos}(\omega t-90)} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1}(\tan(\omega t-90)) = \omega t-90$$

Finalmente:

$$B_{\text{neto}} = 1.5 B_m \angle(\omega t-90)$$

El cual representa un vector de magnitud constante y cuyo ángulo varía con el tiempo

3.8. CONCEPTO DE DESLIZAMIENTO

A la velocidad de rotación del campo magnético anteriormente mencionado, se le denomina velocidad síncrona y se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$N_{\text{sinc}} = \frac{120 \cdot f_R}{P}$$

Donde :

N_{sinc} = Velocidad del campo giratorio en rpm.

f_R = frecuencia eléctrica de la línea

P = Número de polos

Como se ha mencionado anteriormente, un motor de inducción funciona en base a la acción transformadora que se produce desde un devanado primario (estator) a uno secundario (rotor) que se encuentra en corto circuito.

De acuerdo a la ley de Faraday, para que en el rotor exista un voltaje inducido, este debe de cortar las líneas de campo magnético que se producen en el estator. Esto no representa ningún problema cuando el rotor está en reposo, pues en estas condiciones el campo del estator gira a una cierta velocidad síncrona y se produce un efecto de inducción en el rotor; y dado que el devanado del rotor se encuentra en corto circuito, por él circularan corrientes que a su vez producen su propio campo magnético que interactúa con el campo del estator y produce un par que pone en marcha al motor.

Conforme la velocidad del rotor aumenta, las líneas de flujo que cortan al rotor disminuyen, disminuyendo así el voltaje inducido en el rotor y por consiguiente también las corrientes de corto circuito.

¿Que sucedería si el rotor girara a la velocidad síncrona ?. La respuesta es que no existirían líneas de flujo que cortaran el circuito de rotor y por lo tanto, no habría un par inducido. Debido a esta situación una máquina de inducción no puede funcionar a la velocidad síncrona. Por ese motivo, éste tipo de máquinas a menudo se denominan como máquinas asíncronas.

A la relación porcentual entre la velocidad de rotación del campo y la velocidad del rotor, con respecto a la velocidad síncrona, se le denomina deslizamiento y se calcula como sigue:

$$S = \frac{N_{sinc} - N_m}{N_{sinc}} 100\%$$

Donde:

N_{inc} = Velocidad síncrona

N_m = Velocidad mecánica

S = Deslizamiento

En pocas palabras el deslizamiento es una cantidad porcentual que nos indica que tan cerca de la velocidad síncrona opera el motor (cuando el rotor está parado $S = 1$ y cuando gira a velocidad síncrona $S = 0$)

3.9. FRECUENCIA ELÉCTRICA DEL ROTOR

La frecuencia en el rotor varía en proporción a su velocidad de giro, o sea si el rotor no se mueve, su frecuencia será la misma que la del estator, pero cuando el rotor se mueve a la velocidad síncrona su frecuencia es cero. Por lo tanto para cualquier frecuencia de rotación del motor la frecuencia es:

$$F_R = S F_E$$

Donde:

F_R = Frecuencia eléctrica del rotor

S = Deslizamiento

F_E = Frecuencia de la línea

ó también:

$$F_R = \frac{P}{120} (N_{sinc} - N_m)$$

Este concepto es muy importante, pues a diferencia de un transformador, la frecuencia en el secundario (rotor) varía con la velocidad. Y ésta característica debe tenerse en cuenta cuando se analice el circuito equivalente del motor de inducción.

3.10. EFICIENCIA

Al igual que todas la máquinas eléctricas, el motor de inducción presenta una serie de pérdidas, que se mencionan a continuación :

- 1.- Pérdidas en el cobre ($I^2 \cdot R$).
- 2.- Pérdidas en el núcleo.
- 3.- Pérdidas mecánicas.
- 4.- Pérdidas adicionales ó indeterminadas.

La potencia eléctrica de entrada a un motor se da en forma de voltajes y corrientes trifásicas. Las primeras pérdidas que se encuentran en la máquina son las que se presentan en los devanados del estator (P_{cu}), estas se producen debido al efecto joule ($I^2 R$). En seguida se pierde cierta cantidad de potencia en histéresis y por corrientes parásitas en el estator ($P_{núcl}$). La potencia que permanece hasta este punto se traslada al rotor de la máquina. En el rotor se tiene

una cierta pérdida debida a la resistencia de los devanados del mismo (I^2R), y el resto se transforma en potencia mecánica (P_{conv}). Por último se presentan pérdidas por fricción y ventilación (P_{fv}) y pérdidas diversas, que se conocen como pérdidas misceláneas.

Las pérdidas en el núcleo están compuestas por una parte que se genera en el estator y otra en el rotor, pero realmente las del rotor son muy pequeñas comparadas con las del estator y por esto siempre se consideran del lado del estator.

A menudo se suele llamar pérdidas rotacionales a la suma de las pérdidas en el núcleo y las pérdidas por fricción y ventilación.

En la figura 3.13. se muestra el diagrama de flujo de potencia en un motor de inducción trifásico.

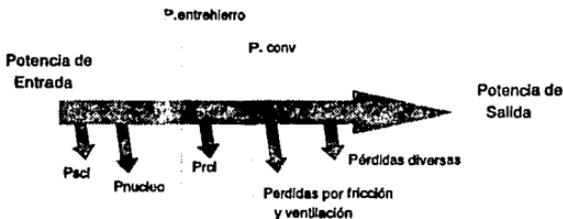


Fig. 3.13. Diagrama de flujo de potencia.

La eficiencia (η) de un motor de inducción (y la de cualquier máquina eléctrica) se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{ent}} 100\%$$

Donde:

P_{sal} = Potencia de salida

P_{ent} = Potencia de entrada

Que también puede expresarse por:

$$\eta = \frac{P_{sal}}{P_{sal} + \text{Perdidas}} \cdot 100\%$$

3.11. CIRCUITO EQUIVALENTE

El circuito equivalente de un motor de inducción es muy similar al de un transformador, pero con la diferencia de que el secundario (rotor) se encuentra en movimiento.

La primera aproximación del circuito equivalente del motor de inducción trifásico se muestra a continuación y dado que estamos hablando de una máquina trifásica, su circuito equivalente será por fase.

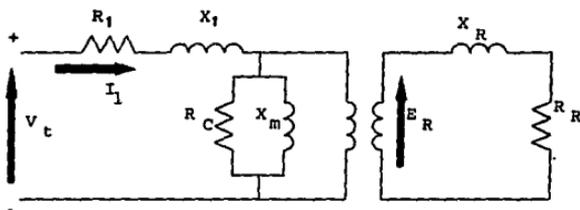


Fig 3.14. Circuito equivalente del motor de inducción visto como transformador.

En la figura 3.14. :

R_1 representa la resistencia eléctrica de los devanados del estator por fase. Esta resistencia será menor cuanto mayor sea el área transversal de los conductores utilizados.

X_1 representa la reactancia de dispersión que se presenta en los devanados del estator. Esto lo podemos explicar de la siguiente manera: Cuando una corriente circula por una bobina, esta produce un flujo magnético que en su mayoría atraviesa el núcleo, pasa por el entrehierro, llega al rotor y cierra el ciclo al volver otra vez al estator. Sería perfecto que todo el flujo magnético generado en el estator llegara al rotor, pero esto no es posible pues existirá siempre un flujo

magnético que quedará disperso (o sea que no llega al rotor). X_1 representa precisamente los efectos que se tienen debidos a este fenómeno en el estator.

R_c representa las pérdidas que se tienen en la máquina por efecto de corrientes parásitas. Estas corrientes producen calentamiento en el motor. Por ésta razón al igual que en el caso de la construcción de transformadores, el núcleo del estator y del rotor se hacen por medio de laminaciones.

X_m es la reactancia de magnetización, y nos da una idea de que tanta corriente de magnetización toma la máquina (la corriente de magnetización es la que se encarga de generar el flujo magnético mutuo entre el rotor y el estator).

Esta reactancia tiene un valor mucho más pequeño comparada con la de un transformador, debido a la alta reluctancia del entrehierro que existe entre el rotor y el estator requiriendo altas corrientes para producir cierta cantidad de flujo.

X_R es la reactancia de dispersión del circuito del rotor.

R_R es la resistencia del rotor por fase.

El circuito equivalente anterior presenta un problema, y es que no se consideran los efectos de la frecuencia variable en el circuito del rotor. Un circuito equivalente definitivo propuesto por Steinmetz, para la máquina de inducción trifásica es el que muestra en la figura 3.15.

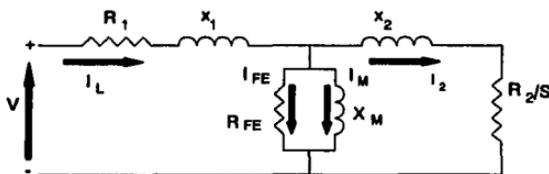


Fig. 3.15. Circuito equivalente del motor de inducción trifásico.

Donde :

R_1 , X_1 , R_2 y X_2 siguen siendo exactamente los mismos parámetros mencionados anteriormente. X_2 es la reactancia de dispersión del rotor, la cual se evalúa en condiciones de rotor bloqueado (lo cual implica que la frecuencia del rotor es igual a la del estator), referida al estator. R_2/S es una resistencia que nos representa los efectos de la variación de velocidad en el motor. R_2 es la resistencia del rotor referida a la del estator.

Como se puede observar, éste circuito equivalente muestra variaciones conforme se presentan cambios en la velocidad del motor. Por ejemplo cuando el motor no se mueve (en el arranque) $S=1$ y la resistencia R_2/S es mínima; si se va aumentando gradualmente la velocidad, R_2/S se va incrementando, disminuyendo de esa forma la corriente en el motor.

3.12. CURVA PAR-VELOCIDAD

En una máquina de inducción el campo del rotor se obtiene por medio de la inducción electromagnética. En la figura 3.16. se muestra un motor jaula de ardilla. Un sistema trifásico de voltajes se aplica al estator y como consecuencia de esto se produce un campo magnético giratorio de magnitud constante, como se mencionó en la sección 3.6. Este campo giratorio B_s corta las barras del rotor y les induce un voltaje, el cual está dado por la ecuación:

$$e_{ind} = (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot \vec{l}$$

Donde:

- V = Velocidad de las barras del rotor con relación al campo magnético.
- B = Densidad de flujo magnético del estator.
- l = Longitud de la barra del rotor

El movimiento relativo del rotor con respecto al campo giratorio del estator, es lo que produce un voltaje inducido en las barras del rotor. La velocidad de las barras superiores (con respecto al campo magnético giratorio) es hacia la derecha, de tal forma que el voltaje inducido en ellas es hacia afuera de la página. En las barras inferiores en cambio, el voltaje inducido es hacia el interior de la página. Esto determina un flujo de corriente hacia afuera de las barras superiores y hacia adentro en las inferiores. Sin embargo, como el conjunto del rotor es

inductivo, su corriente pico se atrasa con relación al voltaje inducido. El flujo de corriente en el rotor genera su propio campo magnético (B_R) que interactúa con el campo del estator para establecer un par.

Por último el momento de torsión inducido se expresa como sigue:

$$\vec{T}_{Ind} = K (\vec{B}_R \times \vec{B}_S)$$

(El movimiento resultante es en la dirección en el cual gira el campo magnético del estator).

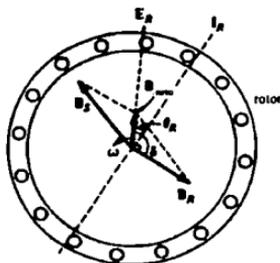


Fig. 3.16. Generación del par en el rotor de una máquina de inducción.

El campo neto de la máquina es $B_{acto} = B_R + B_S$; si sabemos que:

$$\vec{T}_{Ind} = K (\vec{B}_R \times \vec{B}_S) \quad \text{y} \quad \vec{B}_S = \vec{B}_{no\tau} - \vec{B}_R$$

Tenemos:

$$\vec{T}_{Ind} = K \vec{B}_R \times (\vec{B}_{no\tau} - \vec{B}_R)$$

$$\vec{T}_{ind} = k (\vec{B}_R \times \vec{B}_{net}) - k (\vec{B}_R \times \vec{B}_R)$$

Quedando finalmente (ya que $B_R \times B_R = 0$)

$$\vec{T}_{ind} = K (\vec{B}_R \times \vec{B}_{net})$$

Realizando el producto cruz

$$|\vec{T}_{ind}| = K B_R B_{net} \text{ Sen } \delta \quad (3.1)$$

Donde :

k = Constante que depende de la construcción de la máquina^[1]

B_R = Densidad de flujo en el rotor

B_{net} = Densidad de flujo total

δ = Ángulo entre los vectores B_{net} y B_R

De acuerdo a la ecuación anterior podemos deducir fácilmente el comportamiento de la máquina conforme cambia su velocidad. Cada término de la ecuación (3.1) puede analizarse por separado y posteriormente determinar la curva Par-Velocidad.

1.- El campo magnético del rotor (B_R) es directamente proporcional a la corriente de rotor; y la corriente del rotor depende directamente de la velocidad relativa que tenga éste con respecto al campo giratorio (ver figura 3.17).

2.- El flujo neto (B_{net}) es prácticamente constante en un motor de inducción debido a que el flujo es producido por la corriente de magnetización de la máquina^[1] (fig. 3.18).

^[1] Realmente K no es una constante, pues depende de la permeabilidad (μ) del acero del núcleo de la máquina (ver referencia 3)

^[1] FITZGERALD, KINGSLEY, KUSKO. "Teoría y análisis de las máquinas eléctricas". Editorial Hispano-Europea, Segunda Edición, 1980, 587 pp.

3.- Por último el término $\sin(\delta)$ depende de las condiciones de carga de la máquina y además se puede demostrar que éste término es igual al factor de potencia del rotor^[1] (fig 3.19).

Si multiplicamos punto por punto cada una de las tres curvas obtenidas anteriormente, podemos encontrar la curva característica Par-velocidad de un motor de inducción trifásico (ver figura 3.20.).

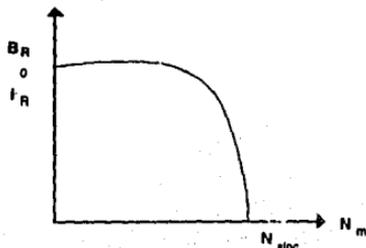


Fig 3.17. Corriente de rotor VS velocidad.

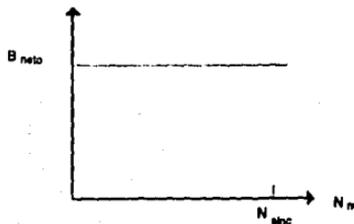


Fig 3.18. Densidad de flujo VS velocidad.

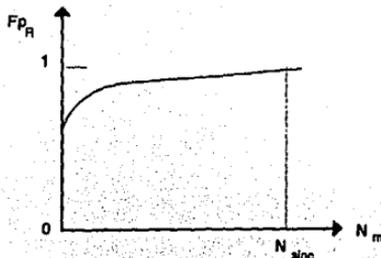


Fig. 3.19. Factor de potencia VS velocidad

[1] STEPHEN CHAPMAN, "Máquinas Eléctricas", Mc Graw-Hill, Segunda edición. 1993, 740 pp.

3.12.1. ANÁLISIS DE LA CURVA PAR-VELOCIDAD

Esta curva se puede dividir en tres zonas. La primera es la zona de deslizamiento bajo. En esta zona el deslizamiento del motor aumenta en forma casi lineal con respecto al aumento de carga y la velocidad del motor disminuye en forma lineal con la carga. También en esta zona el F_p del rotor es casi uno, pues la reactancia del rotor que depende de la frecuencia del mismo y los flujos de dispersión, son despreciables. Todo el funcionamiento normal en estado estable de un motor de inducción cae en ésta zona.

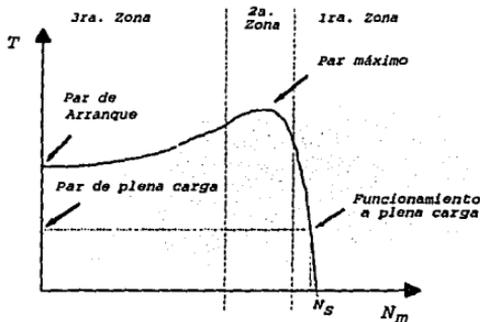


Fig. 3.20. Curva Par-Velocidad del motor de inducción trifásico.

La segunda zona se puede llamar de deslizamiento moderado, y aquí la reactancia del rotor es muy similar a la resistencia, por lo tanto el F_p del rotor decae. En esta zona es donde se presenta el par máximo del motor y ocurre en el punto en donde con un aumento gradual de la carga, el aumento de la corriente del rotor está perfectamente balanceado por la disminución de su factor de potencia.

La tercera zona de la curva se llama zona de alto deslizamiento. En esta región la reactancia del rotor es mas grande que la resistencia (debido a la mayor frecuencia de rotor) y por lo tanto el factor de potencia es bajo. Cuando se incrementa la carga en el motor, el bajo factor de potencia produce una disminución en el par inducido, a pesar del significativo aumento de la corriente en el rotor.

Es importante hacer notar que los campos armónicos que se generan dentro de la máquina de inducción, provocan que la curva par-velocidad se distorsione, dando como resultado que el motor no opere adecuadamente. Algunos de los efectos producidos por los campos armónicos se analizarán en el siguiente capítulo.

En una máquina de inducción, la curva Par-velocidad puede ser alterada al cambiar algunos parámetros importantes del circuito equivalente. Uno de esos parámetros importantes es la resistencia del rotor.

3.13. CLASES DE DISEÑO

Es posible producir una variedad de curvas par-velocidad, variando las características de construcción del rotor de los motores de inducción. Esto se logra diseñando el rotor de tal forma que se obtengan valores adecuados de resistencia y reactancia del mismo. Por ejemplo: si queremos tener un alto par de arranque en el motor, será necesario diseñar el rotor con una alta resistencia, pero, esto traerá como consecuencia un alto valor de deslizamiento. Para ayudar a la industria a seleccionar los motores más apropiados para la gran variedad de aplicaciones en toda la gama de caballos de fuerza, se han normalizado¹³⁾ una serie de diseños con diferentes curvas par-velocidad.

Estos diseños normalizados se conocen como clases de diseño y cada motor pertenece a una de éstas clases. Las clases se especifican por medio de una letra.

DISEÑO CLASE A. El diseño clase A se construye con barras del rotor bastante grandes y colocadas muy cerca de la superficie. Debido a estas características tendremos una resistencia pequeña y una reactancia de dispersión también pequeña (debido a que las barras están muy cerca del estator). Dando como resultado un par de arranque pequeño y una corriente de arranque relativamente alta (del orden del 500 al 800% de la corriente nominal).

DISEÑO CLASE B. Estos son motores con rotores de barras profundas. En estas barras la reactancia de dispersión es mayor en la parte inferior de las barras y menor en la superficie, por otra parte la resistencia es prácticamente constante tanto en la parte superior como en la inferior.

¹³⁾ National Electrical Manufacturers Association (NEMA) en Estados Unidos, la International Electrotechnical Commission (IEC) en Europa y la Norma Oficial Mexicana (NOM) en el país.

Dando como resultado que se produzca un par de arranque muy similar al de la clase A, pero con aprox. 25% menos de corriente de arranque.

DISEÑO CLASE C. Estos son rotores de doble jaula, que consisten en un juego de barras de resistencia baja colocadas profundamente en el rotor y un juego de barras pequeñas y de alta resistencia situadas cerca de la superficie. El par de arranque de éste motor es mucho mas alto que en los casos anteriores, con una corriente de arranque baja.

DISEÑO CLASE D. Este tipo de motores se diseña con un rotor que tiene barras pequeñas localizadas cerca de la superficie. En estas condiciones, la resistencia del rotor es relativamente alta y la reactancia de dispersión es pequeña. Este presenta un par de arranque muy alto y una corriente de arranque baja, pero el deslizamiento a plena carga es alto.

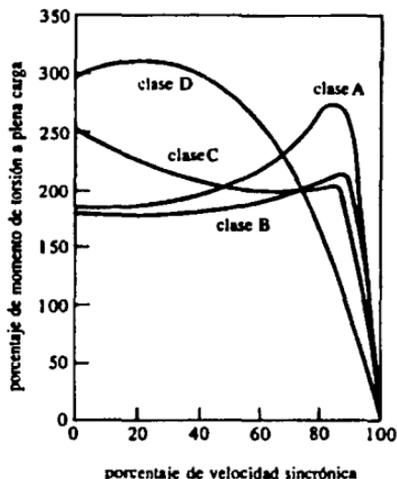


Fig. 3.21. Curvas par velocidad para los tipos de diseño.

Además de las cuatro clases de diseño antes mencionadas, existe un clase de diseño F, denominada como de "arranque suave"; la cual se distingue por tener muy bajas corrientes de arranque, pero con la limitante de proporcionar bajos pares de arranque. Hoy en día éste tipo de diseños son prácticamente obsoletos.

3.14. APLICACIONES DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

La asociación de fabricantes de equipo eléctrico de U.S.A. (NEMA) clasifica los motores de inducción jaula de ardilla como sigue:

Clase de diseño	Par de arranque	I arranque	Deslizamiento a plena carga	Aplicaciones
A	Normal	Normal	Bajo < 5 %	Máquinas herramientas, ventiladores, bombas, compresores, tornos, abanicos y transportadores arrancados sin carga.
B	Normal	Baja	Bajo < 5 %	Igual a la clase A pero con menores corrientes de arranque.
C	Alto 200% de plena carga	Baja	Bajo < 5 %	Bombas de émbolo, transportadores arrancados con carga, compresores
D	Alto 275 % de plena carga	Baja	Alto 5-8 8-13 %	Elevadores, prensas, grúas de tijera. (En general para aplicaciones que requieren cargas de tipo inercial extremadamente altas)
F	Bajo	Muy baja	Bajo < 5 %	Motores de alta velocidad para ventiladores

Tabla 3.2. Clases de diseño de motores trifásicos

Para los motores de rotor devanado, tenemos que estos pueden duplicar las características de cualquier tipo de motor jaula de ardilla con excepción de los de la clase C. Podemos decir que cuando el arranque es con cargas bajas e infrecuente, además la carga debe operar con velocidad constante y no hay restricciones acerca de perturbaciones en la línea, el motor de inducción jaula de ardilla es el indicado. Cuando hay que arrancar cargas pesadas o demasiado frecuentes y las líneas de alimentación son afectadas por los disturbios, el motor de rotor devanado es preferible.

En la siguiente tabla se muestran algunas aplicaciones de este motor:

VELOCIDAD CONSTANTE	VELOCIDAD VARIABLE
<ul style="list-style-type: none"> - Molinos de harina - Transportadores de banda - Propulsión de navíos - Locomotoras - Máquinas para papel - Rodillos principales en laminadoras 	<ul style="list-style-type: none"> - Grúas - Elevadores - Palas eléctricas - Descargadores de carbón y mineral

Tabla 3.3. Aplicaciones de los motores de rotor devanado.

Es importante hacer notar, que debido a los grandes avances dentro del campo de la electrónica de potencia, los motores de inducción de rotor devanado que se utilizan principalmente con cargas de velocidad variable ó ajustando sus corrientes de arranque, están siendo reemplazados por los motores jaula de ardilla controlados por dispositivos de estado sólido.

Aplicaciones especiales.- Además del uso normal que se le da al motor de rotor devanado, éste también se aplica como convertidor de frecuencia. Si se alimenta el estator a voltaje y frecuencia nominales y se hace girar el rotor desde el exterior, se tiene en los anillos colectores una frecuencia y un voltaje que dependen de la velocidad y sentido de rotación. Operando en estas condiciones se tiene lo que se llama convertidor de frecuencia, el cual tiene aplicación en la industria de trabajos en metal ó madera en donde se requieren generadores que no excedan los 100 KW.

La frecuencia se obtiene por la ecuación :

$$F = \frac{P N_r}{120} F_s$$

3.15. ECUACIONES DE PAR Y POTENCIA

A continuación se mencionan algunas ecuaciones importantes para el análisis de la operación de los motores de inducción trifásicos:

Pérdidas en el cobre del estator

$$P_{sc1} = 3 I_1^2 R_1$$

Pérdidas en el núcleo

$$P_{nuc1} = 3 \frac{E_1^2}{R_c}$$

Potencia del entrehierro

$$P_{AG} = P_{ent} - P_{sc1} - P_{nuc1} = 3 I_2^2 \frac{R_2}{S}$$

Pérdidas en el cobre del rotor

$$P_{Rc1} = 3 I_R^2 R_R = 3 I_2^2 R_2$$

Potencia convertida^[6]

$$P_{conv} = 3 I_2^2 R_2 \frac{(1-S)}{S} = (1-S) P_{AG}$$

El par inducido puede calcularse como sigue

$$T_{Ind} = \frac{P_{conv}}{\dot{W}_m} = \frac{P_{AG}}{\dot{W}_{sInc}}$$

^[6] La potencia convertida es la potencia que idealmente se transforma de eléctrica a mecánica (también llamada potencia mecánica desarrollada).

El par y el deslizamiento máximo se obtienen por medio de las siguientes fórmulas:

$$S_{\max} = \frac{R_2}{\sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2}}$$

$$T_{\max} = \frac{3 V_{th}^2}{2 W_{sinc} (R_{th} + \sqrt{R_{th}^2 + (X_{th} + X_2)^2})}$$

Donde :

V_{th} = Voltaje de thevenin

R_{th} = Resistencia de thevevin

X_{th} = Reactancia de thevenin

$$V_{th} = V_0 \frac{jX_m}{R_1 + jX_1 + jX_m}$$

$$R_{th} = R_1 \left(\frac{X_m}{X_1 + X_m} \right)^2$$

$$X_{th} = X_1$$

Los voltajes e impedancias de Thevenin se calculan a partir del circuito equivalente del motor de inducción, obteniéndose un circuito equivalente de Thevenin en los puntos a y b (ver figura 3.22).

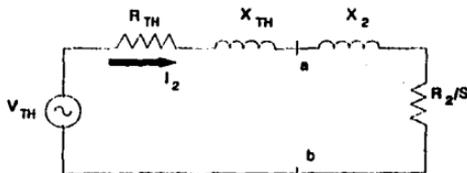


Fig. 3.22. Circuito equivalente de Thevenin

3.16. ESPECIFICACIONES NOMINALES

De acuerdo con las normas oficiales un motor debe de tener una placa característica en donde se indiquen los principales parámetros de operación y manufactura del mismo. Entre estos se mencionan los siguientes:

- a) Marca del fabricante
- b) Tensión nominal en volts y corriente a plena carga en amperes
- c) Frecuencia y número de fases, en motores de corriente alterna, así como el tipo de conexión
- d) Velocidad a plena carga
- e) Elevación normal de temperatura (en °C) ó clase de aislamiento y temperatura ambiente de referencia.
- f) Régimen de trabajo (referido al tiempo durante el cual el motor puede funcionar a plena carga sin alcanzar su límite de temperatura). Este régimen puede ser de 5, 15, 30, ó 60 minutos ó continuo.
- g) Potencia nominal (en CP ó en KW) para motores de 1/8 CP y mayores.
- h) Tensiones y corriente a plena carga, secundarias, si se trata de un motor de inducción de rotor devanado.
- i) Letra que indica el tipo de diseño del motor (A,B,C,ó D).
- j) Eficiencia nominal del motor, sobre todo si se trata de un motor de alta eficiencia.
- k) Factor de servicio.

- l) En algunas ocasiones se marca el valor de la potencia máxima en KVAR que puede suministrarse al motor por medio de bancos de capacitores, para la corrección de factor de potencia.

Además de lo anterior se recomienda que en los motores de corriente alterna de 1/2 CP ó mayores se usen letras claves que indiquen la potencia que toman los motores con el rotor bloqueado. En tal caso, dichas letras deben marcarse en la placa de datos y estar de acuerdo con la tabla 3.4.

Letra clave	KVA por CP con rotor bloqueado	Letra clave	KVA por CP con rotor bloqueado
A	0 - 3.14	L	9 - 9.99
B	3.15 - 3.54	M	10 - 11.19
C	3.55 - 3.99	N	11.2 - 12.49
D	4 - 4.49	O	12.5 - 13.99
E	4.5 - 4.99	P	14 - 15.49
F	5 - 5.59	R	14.5 - 15.99
G	5.6 - 6.29	S	16 - 17.99
H	6.3 - 7.09	T	18 - 19.99
J	7.1 - 7.99	U	20 - 22.39
K	8.0 - 8.99	V	22.4 Y Más

Tabla 3.4. Letras clave para motores de inducción

La corriente límite en el motor se basa en el máximo calentamiento aceptable en los embobinados del motor y la potencia límite se establece de la combinación de los valores nominales del voltaje y de la corriente, con el factor de potencia y eficiencia de la máquina.

CAPITULO 4

Metodología general de diseño

Antes de explicar la metodología general de diseño, serán discutidos brevemente algunos conceptos relacionados con la operación de los motores de inducción. Dichos conceptos presentan información que el diseñador debe conocer y tomar en cuenta durante el proceso de diseño, puesto que presentan información acerca del comportamiento final de la máquina.

4.1. FUERZA MAGNETOMOTRIZ EN DEVANADOS TRIFASICOS

En la sección 3.7 cuando se analizó el concepto de campo magnético giratorio, se hizo la suposición de que las ondas de fuerza magnetomotriz (Fmm) generadas por cada devanado de fase eran senoidales. En la realidad, debido a que los estatores de las máquinas se construyen con un número finito de ranuras, las Fmm no tienen una perfecta forma senoidal. En la figura 4.1. se muestra la forma de la fuerza magnetomotriz en un devanado de fase.

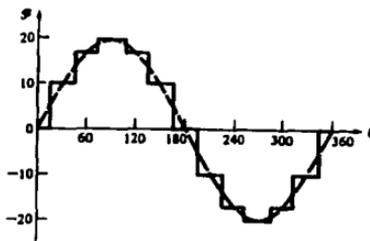


Fig. 4.1. Fuerza magnetomotriz generada por un devanado de fase.

A un campo generado por una fase de un devanado trifásico como el anteriormente presentado, se le denomina "Campo Pulsatorio". Se expande, se contrae, se expande con polaridad opuesta y de nuevo se contrae, pero no se mueve.

Al realizar un análisis de Fourier de la onda anterior, se tiene que la ecuación de la componente fundamental es:

$$F = F_m \cos(\omega_e t) \cos(\theta)$$

Donde ω_e es la frecuencia de la línea, θ es el ángulo espacial medido alrededor de la superficie del estator, y F_m es el valor pico de la componente fundamental de la onda de F_{mm} (la combinación de tres campos de este tipo defasados 120 grados en el tiempo y en el espacio generan una F_{mm} de magnitud constante y giratoria).

En vista de lo anterior (debido a que la onda de flujo no es senoidal), en una máquina de inducción se presentan una serie de armónicos espaciales que producen serios inconvenientes en el funcionamiento del motor. Algunos de estos efectos se mencionan a continuación:

- Efecto sobre la reactancia de dispersión.- Provocando un aumento en el valor de las mismas, y una disminución en el par desarrollado.
- Efecto en el par máximo.- Los armónicos de orden alto tienden a reducir el par máximo.
- Efectos en el par de arranque.- Si el campo armónico gira en sentido al campo principal, tiende a aumentar el par de arranque. Pero si gira en sentido contrario tiende a disminuirlo.
- Efectos en la curva Par-velocidad. Producen pares muertos, e irregularidades en la curva.
- Efectos de ruido.- La presencia de campos armónicos provoca zumbidos durante la operación del motor.

- Efecto en pérdidas.- Los campos armónicos son una fuente de pérdidas diversas y pérdidas en el núcleo, puesto que inducen corrientes de *eddy* en el rotor.

Sin embargo, no todos los armónicos causan problemas en la máquina de inducción trifásica. La simetría de los grupos de fase impiden la formación de cualquier armónico de orden par. De las armónicas impares solamente algunos causan dificultades. Por ejemplo, en el caso del tercer armónico, se puede demostrar^[1] que aunque existan voltajes de tercer armónico, no aparecerán en las terminales de la máquina trifásica, cualquiera que sea su conexión (delta ó estrella).

Lo anterior también es cierto para los órdenes de armónicos múltiplos del número de fases, tal como la novena, la decimoquinta, la vigésima primera, etc. Estos armónicos son llamados "*Armónicos triples*". Una razón importante para conectar los devanados en estrella es suprimir las corrientes circulantes de la tercera armónica, presentes en la conexión delta. Los armónicos que afectan a las máquinas trifásicas simétricas son los de orden:

$$\nu = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 25, 29, \text{ etc.}$$

Aunque podemos mencionar que los armónicos más molestos son los denominados armónicos de faja o de cinturón, los cuales son de orden:

$$\nu = 12 q \pm 1$$

Donde q es el número de fases en el devanado de estator. Para eliminar los armónicos en la máquina de inducción, los diseñadores han utilizado algunas técnicas como las siguientes:

- 1.- Se utilizan preferentemente embobinados de paso fraccionario.
- 2.- Las ranuras del rotor se construyen con una cierta inclinación (devanados helicoidales).

[1] GEORGE MCPHERSON, "*Introducción a las máquinas eléctricas y transformadores*", LIMUSA, primera edición, 1987, 548 pp.

- 3.- En algunas ocasiones se utilizan devanados de ranura fraccionaria ^[2] para eliminar los efectos de los armónicos de ranura ^[3].
- 4.- Se eligen valores adecuados para la abertura de las ranuras.
- 5.- En la manufactura del motor, se maquinan las laminaciones con sumo cuidado para evitar distorsiones excesivas en la onda de densidad de flujo.

4.2. CÚSPIDES EN LA CURVA PAR-VELOCIDAD.

Este fenómeno es debido principalmente a los pares que son generados por los armónicos de la onda de densidad de flujo en el motor. Estos armónicos tienen un número mayor de polos y consecuentemente menor velocidad síncrona (N_{sinc}/p); además algunos giran en dirección contraria al campo principal ^[4].

En la figura 4.2. se muestra una curva par-velocidad que presenta una cúspide. En la curva, si el motor se arranca a plena carga, le será imposible alcanzar la velocidad de operación (consumiendo por lo tanto demasiada corriente). Para que el motor se pueda acelerar sería necesario disminuir la carga.

En algunos casos la cúspide es tan grande que la curva puede llegar a cruzar el eje x y por lo tanto el motor no alcanzará su velocidad nominal ni en vacío.

^[2] Los devanados de ranura fraccionaria implican el uso de un número fraccionario de ranuras por polo y por fase en el rotor.

^[3] Los armónicos de ranura ocurren a frecuencias determinadas por el espacio que existe entre las ranuras adyacentes de la máquina y su magnitud es independiente del paso del devanado. Estos armónicos son de orden:

$$v = \frac{2 M S_1}{P} \pm 1$$

Donde:

M = Cualquier número entero
S₁ = Número de ranuras del estator
P = Número de polos

^[4] Los armónicos de orden $v = 6K - 1$ (5, 11, 17 etc.) giran en sentido inverso al campo principal; mientras que los de orden $v = 6K + 1$ giran en el mismo sentido del campo principal (donde K es cualquier número entero positivo).

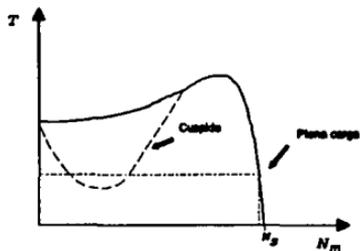


Fig. 4.2. Cúspides en la curva par-velocidad

4.3. PUNTOS MUERTOS DE PAR

Los puntos muertos de par (o *pares síncronos*) se producen a una determinada velocidad del rotor como resultado de la interacción de los armónicos de un mismo orden del rotor y del estator (particularmente cuando la velocidad relativa entre los dos campos armónicos es cero).

Estos puntos muertos de par producen deformaciones en la curva par-velocidad y principalmente constituyen una variación del par de arranque del motor, dependiente del alineamiento relativo entre el rotor y el estator. Esto trae como consecuencia que la curva par-velocidad se modifique y se vea como la de la figura 4.3.

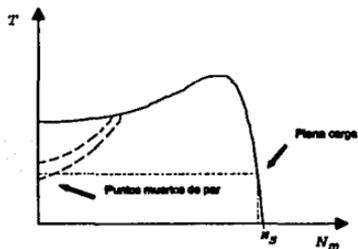


Fig. 4.3. Pares muertos en la curva par-velocidad.

En la figura 4.3. se aprecia que el motor presenta diferentes pares de arranque, dependiendo de la posición relativa que tenga el rotor con respecto al estator. Si el par de arranque para alguna de esas posiciones es menor al par de plena carga, el motor no será capaz de arrancar, y se dañará a causa de la corriente excesiva.

La existencia de pares muertos y cúspides en la curva par velocidad del motor de inducción dependen en gran medida de la combinación de ranuras empleadas y del número de polos, siendo prácticamente independientes del número de fases y del tipo de devanado.

4.4. DEVANADOS DEL ESTATOR

Las funciones del devanado de estator pueden resumirse en los tres puntos siguientes:

- 1.- Permitir la circulación de la corriente magnetizante que genera el campo giratorio
- 2.- Inducir a través de dicho campo una fuerza electromotriz en el rotor capaz de hacer circular la corriente de trabajo necesaria para desarrollar la potencia de salida esperada.
- 3.- Generar en sus bobinas una fuerza contra electromotriz en dirección opuesta y de magnitud ligeramente menor a la tensión aplicada.

El devanado puede ser de dos tipos dependiendo del tipo de ranura utilizada:

- a) Devanado para ranuras semicerradas.
- b) Devanado para ranuras abiertas.

En motores con ranuras semicerradas, las bobinas se devanan directamente sobre el estator y posteriormente se aíslan. Para el caso de ranuras abiertas, las bobinas por lo general son del tipo *diamante*, las cuales se conforman y aíslan completamente antes de ser colocadas en el estator.

Independientemente del tipo de ranura utilizada, el devanado más utilizado en los motores de inducción es el de *doble capa*, en el cual cada ranura contiene dos costados de diferentes

bobina; por lo que el número de ranuras es igual al número de bobinas (una bobina puede tener una o más espiras; al número de espiras se le denomina Nc).

Una vez devanadas y colocadas las bobinas estas se conectan en serie formando grupos, de tal forma que de cada grupo salen dos terminales. El número de grupos se calcula por la ecuación:

$$\text{Número de grupos} = 3 \times \text{Número de polos} = 3 \times P$$

Y el número de bobinas por grupo:

$$\text{Bobinas por grupo} = \frac{\text{Bobinas totales}}{\text{Número de Grupos}} = \frac{\text{Número de ranuras}}{3 \times P}$$

Los motores de inducción para uso general normalmente se diseñan para operar a dos tensiones (por ejemplo 220 y 440V). Esta característica se obtiene utilizando un devanado con dos o más circuitos en paralelo.

En algunas ocasiones el número de ranuras por polo y por fase resulta ser un número fraccionario. En éste caso será necesario utilizar devanados con agrupamientos desiguales de bobinas para tener un devanado balanceado ^[1].

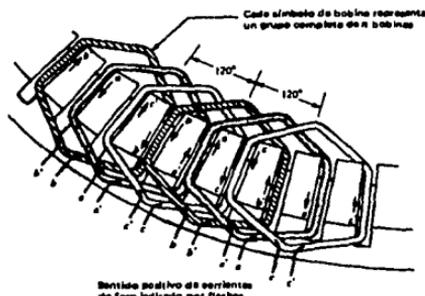


Fig. 4.4. Sección de un devanado trifásico en un motor de inducción.

[1] VEINOTT C. G. "Fractional and subfractional horsepower electric motors". Ed. Mc graw hill, Cuarta edición, 1987, 477 pp.

4.4.1. DEVANADO DE PASO COMPLETO

Se denomina devanado de paso completo (ó diametral) a aquel en el cual las bobinas se colocan de tal forma que sus costados quedan a un paso polar de distancia. El paso polar puede calcularse usando cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$P_{polar} = \frac{360^\circ}{P}$$

$$P_{polar} = \frac{\pi D_i}{P}$$

Donde:

D_i = Diámetro interno del estator

P = Número de polos

4.4.2. DEVANADO DE PASO FRACCIONARIO

Son aquellos en los cuales las bobinas tienen un avance menor a un paso polar. Este tipo de devanados son los más comúnmente utilizados, pues presentan una serie de ventajas con respecto a los de paso completo que a continuación se mencionan:

- 1.- Se reduce la longitud de la espira y de la bobina, con lo cual se reducen las pérdidas en el cobre.
- 2.- La forma de onda del campo se mejora, pues se amortiguan los armónicos de entrehierro.
- 3.- Las reactancias de dispersión disminuyen, permitiendo obtener mayor par útil en la flecha.
- 4.- Equivale a cambiar el número de vueltas en serie de las bobinas, ya que si en un cálculo resultaran bobinas de seis vueltas (*Paso diametral*), pero seis representará un número de Amp-Vuelta ligeramente grande para obtener las características de operación deseadas y cinco representará un valor ligeramente menor, acortando el paso del devanado una ó mas ranuras se produce un efecto magnético equivalente a tener 5.5 ó 5.75 espiras.

4.4.3. FACTOR DE PASO

Se define como la relación de la tensión generada en una bobina de paso fraccionario, a la tensión que se generaría en la misma bobina si fuera de paso completo. Se calcula como sigue:

$$K_p = \text{Sen} \left(\frac{\text{Ranuras abarcadas} \times 90}{\text{Ranuras por polo}} \right) = \text{Sen} \left(\frac{\rho}{2} \right)$$

Donde:

ρ = Paso de la bobina en grados eléctricos.

K_p = Factor de paso

La práctica ha demostrado que un adecuado valor para este factor es 0.966, es decir, utilizar un paso de bobina de 150 grados eléctricos.

El factor de paso varía dependiendo el número de armónico considerado de la onda de Fmm en el entrehierro; para la ν -ésima armónica el factor de paso es:

$$K_p = \text{Sen} \left(\frac{\nu \rho}{2} \right)$$

Donde:

ν = ν -ésima armónica.

K_p = Factor de paso.

4.4.4. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN

En un devanado de un motor de inducción polifásico, cada bobina sucesiva está separada un paso de ranura (γ) con respecto a la adyacente. Esta distribución de los embobinados provoca un defasamiento entre los valores de F.c.m. individuales de cada bobina. Como consecuencia el voltaje inducido será un poco menor al voltaje que se tendría si el devanado estuviera completamente concentrado en una ranura. El factor de distribución nos representa este porcentaje de caída de tensión. Se calcula como sigue:

$$K_d = \frac{\text{Sen} \left(\frac{\nu n \gamma}{2} \right)}{n \text{Sen} \left(\frac{\nu \gamma}{2} \right)}$$

Donde:

- K_d = Factor de distribución.
- n = Número de bobinas en cada grupo.
- γ = Paso de ranura en grados eléctricos.
- ν = ν -ésima armónica.

4.4.5. FACTOR DE DEVANADO

Por lo general el factor de paso (K_p) y el factor de distribución (K_d) se agrupan en un solo factor llamado comúnmente Factor de devanado (K_w), y es igual a:

$$K_w = K_p K_d$$

4.4.6. FACTOR DE TORCIMIENTO

Es la relación del voltaje inducido en una bobina helicoidal (bobina con cierta inclinación angular ó skew) entre aquel que se induciría en la misma bobina, pero sin torcimiento. Y se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$K_T = \frac{2 \operatorname{Sen}\left(\frac{\nu\alpha}{2}\right)}{\nu\alpha}$$

Donde:

- K_T = Factor de torcimiento.
- α = Ángulo de inclinación de las ranuras en radianes eléctricos:
- ν = ν -ésima armónica.

El factor de devanado para una máquina con devanados helicoidales será:

$$K_w = K_d K_p K_T$$

4.4.7. CONDUCTORES EN SERIE EFECTIVOS POR FASE.

El número de conductores en serie eficaces por fase de un devanado polifásico se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{2 S_b N_c}{m q} K_w$$

Donde:

S_b = Número total de bobinas del estator.

N_c = Número de espiras por bobina.

m = Número de fases

q = Número de circuitos en paralelo.

C_s = Conductores en serie efectivos por fase.

El cual también puede ser evaluado por:

$$C_e = \frac{Vf \cdot 0.97 \cdot 10^8}{2.22 \phi \cdot f \cdot Kw}$$

Donde:

Vf = Voltaje de fase.

f = frecuencia eléctrica en Hz.

Kw = Factor de devanado.

ϕ = Flujo en la máquina por polo (en líneas de flujo).

El flujo por polo puede ser evaluado de acuerdo a la ecuación propuesta por Kuhlmann ⁽⁴⁾:

$$\phi = C_1 \times 10^5 \sqrt{\frac{HP}{f}}$$

Donde :

HP = Potencia del motor en HP.

f = Frecuencia en Hz.

C_1 = Constante que toma los valores dados en la tabla 4.1.

	Polos	2	4	6	8	10	12	14	16
C_1	Máximo	3.7	2.45	2.10	1.90	1.80	1.70	1.65	1.60
	Mínimo	2.55	1.95	1.70	1.55	1.45	1.40	1.33	1.30

Tabla 4.1. Valor de la constante C_1

Cabe aclarar que el valor obtenido para C_e siempre debe ser redondeado a un número entero.

⁽⁴⁾ KUHLMANN J.H. , "Diseño de aparatos eléctricos", CECSA, Sexta edición, México 1977, 559 pp.

4.5. TIPOS DE ACEROS UTILIZADOS EN MAQUINAS ELÉCTRICAS

A partir de su permeabilidad los materiales pueden clasificarse como:

- a) Materiales paramagnéticos.- Presentan una permeabilidad un poco mayor a la del aire ($\mu_o = 4\pi \times 10^7$ H/m).
- b) Materiales diamagnético.- Presentan una permeabilidad un poco menor que la del aire.
- c) Materiales ferromagnéticos.- Presentan una permeabilidad entre uno y 10 mil veces superior a la del aire.

Los materiales ferromagnéticos son los que se utilizan en la construcción de las máquinas eléctricas rotatorias (MER). Y estos a su vez pueden ser de dos tipos: Magnéticamente duros y Magnéticamente blandos.

Los *magnéticamente duros* son aquellos que resultan difíciles de magnetizar, pero que sin embargo, retienen una considerable magnetización al dejar de aplicar el campo magnético; además de que presentan una gran resistencia a las fuerzas externas magnetizantes. Estos son utilizados principalmente como *imanes permanentes*.

Los materiales *magnéticamente blandos* son aquellos que son fáciles de magnetizar pero retienen poca magnetización al quitar la fuente de excitación. Los *aceros eléctricos* y las *ferritas* suaves pertenecen a ésta categoría.

Los aceros eléctricos utilizados para la construcción de las MER incluyen porcentajes de hasta 3.25% de silicio, para lograr de esta forma reducir las pérdidas específicas. El silicio disminuye la permeabilidad del acero a inducciones elevadas, mientras que a densidades bajas la aumenta. El silicio además aumenta la resistividad volumétrica para un mismo espesor, reduciendo de ésta forma las corrientes de eddy; sin embargo arriba de un 5% de contenido en silicio se presentan inconvenientes tales como el de aumentar la fragilidad del acero. Por otra parte es posible agregar un poco de carbono, para hacer el núcleo un poco mas fuerte, pero esto provoca a su vez provoca una disminución en las propiedades magnéticas del material.

Con respecto al grano, los aceros eléctricos utilizados en MER pueden ser:

- a) Aceros de grano orientado.- Son aquellos en los cuales las propiedades magnéticas están fuertemente orientadas con respecto a la dirección de rolado, sin embargo, éstas disminuyen considerablemente cuando se aplica un campo en sentido inverso (utilizados en la fabricación de transformadores).
- b) Aceros con grano no orientado. Son aquellos en los cuales las propiedades magnéticas son particularmente las mismas en cualquier dirección de magnetización. Este tipo de aceros son los que se utilizan en la fabricación de MER.

4.5.1. PRINCIPALES TIPOS DE ACEROS UTILIZADOS EN MOTORES.

La elección de un acero eléctrico depende principalmente de la máquina eléctrica, es decir, para máquinas de gran tamaño es deseable que tengan eficiencias altas, por lo que se selecciona un acero eléctrico de alta permeabilidad y pérdidas mínimas. Para máquinas pequeñas los aceros utilizados pueden ser de menor calidad. En la tabla 4.2. se muestran los aceros laminados comúnmente usados en máquinas eléctricas. En la tabla 4.3. se presentan las pérdidas específicas de los aceros laminados con grado M.

Aplicaciones	M15	M19	M22	M27	M36	M43	M45	M47
MER grandes (mayores de 100 HP)	*	*	*	*	*			
MER de eficiencia estándar (1-200 HP)						*	*	*
MER con alta eficiencia (1-200 HP)		*	*	*	*	*		
Motores fraccionarios de uso industrial							*	*
Aplicaciones domésticas y refrigeradores							*	*
Motores de uso intermitente y generadores pequeños		*	*	*	*	*		

Tabla 4.2 Tipos de aceros laminados utilizados en MER.

GRADO	AISI ^[7] (1978)				
	Espesor pulg (mm) Pérdidas máximas en el núcleo a 1.5 T.			
		Watts/Kilogramo		Watts/libra	
		50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
M15	0.0138	2.53	3.20	1.15	1.45
M19		2.75	3.48	1.25	1.58
M22		2.93	3.70	1.33	1.68
M27		(0.35) 3.13	3.97	1.42	1.80
M36		3.31	4.19	1.50	1.90
M15	0.185	2.93	3.70	1.33	1.68
M19		3.03	3.83	1.37	1.74
M22		3.22	4.08	1.46	1.85
M27		3.31	4.19	1.59	1.90
M36		3.57	4.52	1.62	2.05
M43		(0.47) 4.01	5.07	1.82	2.30
M45		5.31	6.72	2.41	3.05
M47		6.96	8.82	3.16	4.00
M19	0.025	3.62	4.58	1.64	2.08
M22		3.80	4.80	1.72	2.18
M27		3.92	4.96	1.78	2.25
M36		4.18	5.29	1.90	2.40
M43		(0.64) 4.70	5.95	2.13	2.70
M45		6.27	7.93	2.84	3.60
M47		8.53	10.80	3.87	4.90

Tabla 4.3 Laminaciones de acero grado M

4.5.2. FACTORES QUE DETERMINAN EL NIVEL DE PERDIDAS EN ACEROS LAMINADOS

Los factores que determinan el nivel de pérdidas que se presentan en las laminaciones utilizadas en la construcción de las MER son :

- Frecuencia.

^[7] American Iron and Steel Institute

- Resistividad del material.
- Espesor de la laminación.
- Coeficiente de pérdidas por histéresis.
- Aislamiento entre las laminaciones.
- Densidad de flujo.

La pérdidas por histéresis son determinados por la frecuencia y el coeficiente de pérdidas; mientras que las pérdidas por corrientes de eddy son afectadas por la resistividad, la frecuencia y el espesor del material. La ecuación que relaciona estos parámetros son:

$$P_h = K_h f B_m^x$$

$$P_e = \frac{K_e t^2 f^2 B_m^2}{\rho}$$

Donde:

- P_h = Pérdidas por histéresis.
- P_e = Pérdidas por corrientes de eddy.
- B_m = Densidad de flujo máxima.
- f = Frecuencia
- t = Espesor de la laminación
- x = Factor que varía entre 1.5 y 2 para densidades de flujo usuales
- ρ = Resistividad eléctrica.
- K_h, K_e = Factores numéricos que dependen de las características moleculares del acero y si la inducción es pulsante o rotatoria.

Nota: Las laminaciones comerciales tienen espesores de 0.35, 0.47, y 0.64 mm.

4.6. PROCESO DE DISEÑO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

El diseño de puede definir como una realización física creativa de los conceptos teóricos. El diseño referido a la ingeniería, es la aplicación de la ciencia, la tecnología y la invención a la producción de máquinas que realicen tareas específicas con economía y eficiencia óptimas.

Brevemente formulado el proceso de diseño del motor de inducción consiste en la selección de las dimensiones, los materiales y la construcción que satisfagan los objetivos de operación

y costo^[1], dentro de las restricciones impuestas por las normas, especificaciones y prácticas de manufactura aplicables. Para poder efectuar esta selección, es necesario contar con información o con una metodología de diseño confiable, apoyada en herramientas para el estudio de campos electromagnéticos, transferencia de calor, esfuerzos mecánicos y esfuerzos dieléctricos.

En todo motor eléctrico, coexisten e interaccionan los circuitos eléctrico, magnético y de ventilación, que están estrechamente relacionados entre sí; cualquier variación en alguno de ellos se refleja en los restantes y en el funcionamiento final de la máquina. Consecuentemente, el número y la complejidad de las relaciones presentes en el motor, hacen que su diseño sea esencialmente un proceso de "acierto-error".

De acuerdo a lo anterior podemos destacar tres elementos fundamentales en el proceso de diseño del motor de inducción:

- Fundamentos teóricos generales e idealizaciones que permiten la aplicación práctica (leyes básicas de la teoría electromagnética.
- Criterios de diseño respaldados con estudios teóricos y experimentales en subsistemas del motor.
- La experiencia y habilidad del diseñador.

Las leyes básicas utilizadas son las de Faraday, Lenz y Ampere, siendo necesario para poder aplicarlas, la idealización de geometrías y propiedades de los materiales.

Los criterios de diseño representan la consolidación de una experiencia probada en la práctica, reflejan la capacidad tecnológica de que se dispone para diseñar, fabricar y probar motores. Finalmente, la experiencia del diseñador constituye una acumulación de soluciones a problemas que surgieron durante el diseño de otros motores. Esta experiencia determina la cercanía de una primera propuesta de diseño a la propuesta definitiva que satisfaga, de manera equilibrada, condiciones eléctricas, magnéticas, térmicas, mecánicas y de manufactura.

[1] El análisis de costos en un diseño es un aspecto muy importante a considerar por parte del fabricante, ya que el comprador otorga el pedido al oferente que cumpla la especificación técnica al menor costo.

En el siguiente diagrama se bosqueja a grandes rasgos el proceso de diseño de la máquina de inducción, aunque cabe mencionar que dicho diagrama puede ser aplicado para el diseño de cualquier máquina eléctrica rotatoria.

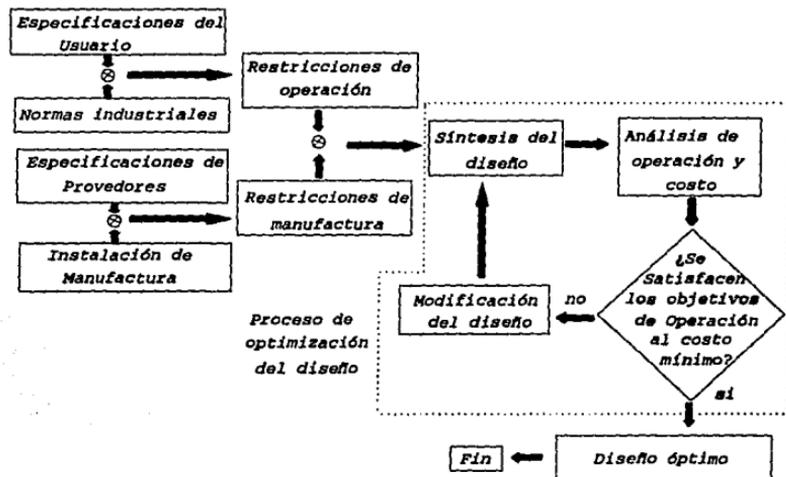


Diagrama de flujo del proceso de diseño de máquinas eléctricas

En el diagrama, primeramente se parte de las especificaciones del usuario y de la normativa industrial existente; ambas se integran para conformar las restricciones de operación.

El segundo conjunto de restricciones, lo establecen en primer lugar los proveedores de materiales (el diseño debe utilizar materiales de tamaños y propiedades especificadas, considerando su disponibilidad y precio) y en segundo lugar, las instalaciones de manufactura, las cuales se refieren a las características de las máquinas herramientas y de los procesos de manufactura particulares de cada fabricante.

Las especificaciones de proveedores y las instalaciones de manufactura se unen para conformar las restricciones de manufactura.

Con estos datos de inicia la *síntesis* del diseño, proceso que se sigue partiendo únicamente de las especificaciones mínimas con las cuales el diseño debe cumplir (es decir, se parte de las restricciones de operación y manufactura anteriormente mencionadas). Al término del proceso de *síntesis*, se tiene un diseño preliminar que pasa a una etapa de *análisis* para determinar si el este cumple con los objetivos de operación y costo. De no ser así, el diseño debe ser modificado y repetido.

Cabe mencionar que aunque en el diagrama se muestra que la repetición se hace comenzando nuevamente en la *síntesis*, esto no es del todo correcto, puesto que únicamente se repite una cierta parte del proceso de *síntesis* (concretamente la parte que está involucrada con los parámetros modificados). Incluso en algunas ocasiones, el proceso completo de *síntesis* inicialmente realizado puede ser omitido, y comenzar el diseño en la parte de *análisis*. Esto generalmente se realiza cuando ya se tienen una serie de diseños aprobados, y el diseño nuevo puede ser obtenido simplemente cambiando algunas características de estos diseños.

Una vez preparado un diseño que cumpla con los requisitos de operación a un costo mínimo razonable, el diseño puede considerarse como óptimo y finalizar el proceso.

El proceso de *optimización* involucrado en el diseño, consiste en generar una cierta cantidad de diseños alternativos, combinando sistemáticamente las variables independientes hacia costos^[9] cada vez menores.

Hoy en día el proceso de diseño y optimización del motor de inducción se ha simplificado grandemente gracias a la ayuda de la *computadora digital*, la cual puede comprobar una gran cantidad de diseños generados y elegir el mas apto en un lapso de tiempo relativamente pequeño.

4.6.1. NORMAS DE DISEÑO

Como se mencionó anteriormente uno de los primeros pasos que se debe hacer al iniciar el diseño de un motor de inducción, es recabar toda la información que al respecto presenta la norma correspondiente. Esto representa un punto de partida, puesto que en ella se especifican los parámetros nominales, mínimos y máximos que rigen la construcción del motor; tales como tensión, frecuencia de operación, deslizamiento, corriente de arranque, par de arranque, par máximo y elevación de temperatura.

[9] Aunque aquí se considera el costo como principal variable a optimizar, es posible optimizar cualquier otra variable involucrada en el diseño. Por ejemplo la eficiencia.

Para el caso de un diseño nacional se debe de cumplir en primer lugar con la norma oficial mexicana correspondiente (NOM)^[10]. Sin embargo si se desea que el diseño tenga características de aplicación a nivel internacional, puede realizarse, por ejemplo bajo la norma NEMA^[11] (National Electrical Manufacturers Association), bajo la norma CEI (Comité Electrónico Internacional) de origen europeo, ó bajo la norma JIS (Japanese Industrial Standard). Entre los parámetros que se estandarizan en las normas oficiales para diseño de motores de inducción se mencionan los siguientes:

- a) Potencia, tensión y frecuencia nominal.
- b) Clasificación según el diseño eléctrico.
- c) Factor de servicio, condiciones de operación y elevación de temperatura.
- d) Dimensiones de los armazones.

El primer inciso se refiere a los parámetros normalizados de potencia, tensión y frecuencia de operación de la máquina (ver tabla 4.4.). El inciso (b) especifica las características de operación (tales como: par de arranque, corriente de arranque, deslizamiento) en función de a la clasificación según el diseño eléctrico del motor (Diseño A, B, C, ó D).

Potencias nominales (HP)	1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
Tensiones nominales (V)	220, 440, 2400, 3200, 4160, 6600
Tensiones especiales (V)	208, 380, 500, 550, 3000, 6000
Frecuencias nominales (Hz)	60

Tabla 4.4. Valores de potencia, tensión y frecuencia normalizados

Con respecto al inciso (c), el factor de servicio de un motor se define como el cociente de la potencia máxima real de la máquina entre la potencia indicada en la placa. Este factor debe

[10] NOM J-75. Motores de inducción jaula de ardilla en potencias de 0.062 KW a 375 KW (de 1/12 a 500 HP)

[11] NEMA Standards Publication No. MG 1-1993. Motors and Generators

ser de 1.15 para motores de uso general hasta 200 Hp ó de 1 para los demás tipos de motores (según la NOM). Las condiciones de operación se refieren a la temperatura ambiente máxima de operación del motor, y a la altitud (en metros sobre el nivel del mar) que se toma como referencia para el diseño. La elevación de temperatura máxima permisible especificada en las normas queda definida en términos del tipo de aislamiento que tenga la máquina (tabla 3.1.) y del factor de servicio de la misma^[12]. Por último en el inciso (d) las dimensiones del motor jaula de ardilla se manejan mediante el número de designación de su armazón. En éste caso la norma NOM contempla dos tipos de armazones normalizados: El *tipo I* y el *tipo II*, teniendo como diferencias entre ellas las dimensiones de montaje. El elegir alguno de estos tipos de armazones depende directamente de las características requeridas (ver tabla 4.5).

Armazón	Potencia (HP)			
	2 polos	4 polos	6 Polos	8 Polos
143	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	0.5 - 0.75	0.5
145	2 - 3	1.5 - 2	1	0.75
182	5	3	1.5	1
184	7.5	5	2	1.5
213	10	7.5	3	2
215	15	10	5	3
254	20	15	7.5	5
256	25	20	10	7.5
284	30	25	15	10
286	40	30	20	15
324	50	40	25	20
326	60	50	30	25
364	75	60	40	30
365	100	75	50	40
404	125	100	60	50
405	150	125	75	60
444	200	150	100	75
445	250	200 - 250	125	100
449	300 - 500	300 - 400	200 - 350	150 - 200

Tabla 4.5. Potencia de salida y tipo de armazón en máquinas trifásicas.

^[12] Debe de tenerse en cuenta que la temperatura máxima a la cual puede trabajar el motor (suma de la temperatura ambiente mas la elevación de temperatura) queda completamente limitada por la temperatura máxima permisible de la clase de aislamiento utilizado.

4.7. PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO

El proceso de diseño completo de una máquina de inducción involucra un diseño térmico, mecánico, dieléctrico y electromagnético. En este trabajo únicamente se tratará lo referente al diseño electromagnético del motor, el cual básicamente puede dividirse en los siguientes pasos.

- 1.- Dimensionamiento del estator.
- 2.- Dimensionamiento del rotor.
- 3.- Diseño del circuito eléctrico
- 4.- Cálculo del circuito magnético
- 5.- Determinación de las características de operación.

Existen varios textos en donde se detallan los procedimientos seguidos para el diseño ^[13] y se muestran las ecuaciones que deben ser evaluadas en cada caso. A continuación únicamente se mencionará el procedimiento general para el diseño, sin profundizar en cada punto, pues eso será motivo de un estudio posterior.

4.7.1. DIMENSIONAMIENTO DEL ESTATOR.

El núcleo del estator de los motores de inducción consiste en una serie de laminaciones cilíndricas ranuradas, colocadas una a continuación de la otra hasta formar un paquete con la longitud activa necesaria para proporcionar la potencia de salida que se requiera. Las laminaciones son troqueladas y posteriormente sometidas a un proceso de recocido térmico, el cual tiene por objeto restablecer sus propiedades magnéticas y formar una capa de aislante de óxido entre ellas. Reduciendo de esta manera las pérdidas por corrientes parásitas y en general las pérdidas en el núcleo.

La longitud y el diámetro del núcleo, quedarán limitadas por el tipo de armazón que se ocupe en el diseño. Al diseñar la laminación para un armazón en particular se debe buscar que éste sirva para todas las potencias y velocidades para las cuales se piensa utilizar. La selección del

^[13] Ver referencias al final de la Tesis

tipo de armazón a utilizar no depende únicamente de sus dimensiones y velocidad, sino también de la densidad de flujo del entrehierro, del tipo de protección mecánica y sistema de ventilación. Por ejemplo, un motor totalmente cerrado de 200 HP a 440 V, se puede diseñar considerando un armazón de la serie 440, pero si se desea que opere a 220/440 volts, será necesario aumentar el área de disipación de calor, lo cual requiere de un armazón con un número de serie mayor.

El diámetro externo (D) de las laminaciones queda limitado por el armazón utilizado, tomando en cuenta algunos aspectos como el espesor de la carcasa, las aletas de radiación, los medios de sujeción del núcleo y el espesor de la base del motor.

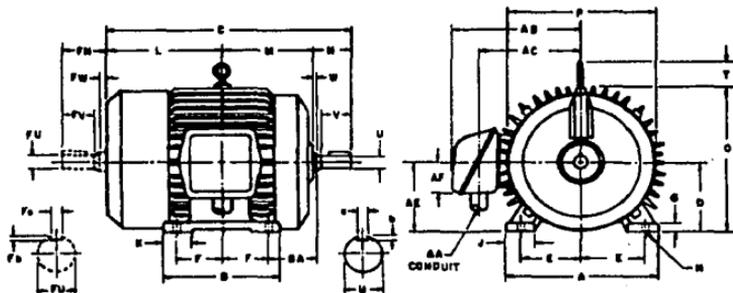


Fig. 4.5. Armazón típica de un motor de inducción trifásico totalmente cerrado

Este diámetro (D) debe ser lo mas grande posible, ya que gracias a esto obtendremos una mayor potencia de salida, en base a la expresión siguiente:

$$D^2 L = \frac{(65 \sqrt{P} \text{ HP}^c) 0.96}{1-s}$$

Donde :

S = Deslizamiento a plena carga

C = 0.621 para 2 polos

- C = 0.585 para 4 polos
- C = 0.560 para 6 polos
- C = 0.538 para 8 polos
- L = Longitud del núcleo
- P = Número de polos.

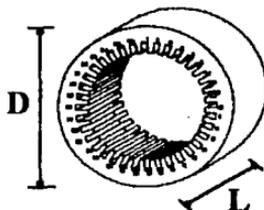


Fig. 4.6. Dimensiones principales del núcleo

El valor de la constante C depende básicamente del nivel de pérdidas del acero utilizado.

Con respecto a la determinación del diámetro interno del estator, cada autor tiene sus propias ecuaciones obtenidas en base a pruebas experimentales. Pero algunos coinciden (Veinott y Kuhlmann por ejemplo) en determinar éste parámetro como una función de la relación entre el diámetro interno y externo del estator (D_1/D). Las consideraciones que se deben de tomar en cuenta al seleccionar este diámetro son:

- 1.- Ancho de ranura y yugo suficientes para tener un comportamiento adecuado.
- 2.- Espacio suficiente para acomodar cabezales y conexiones.
- 3.- Tener en cuenta que si la medida del diámetro está muy cerca a la "correcta", aumentarla se traduciría en un aumento en el factor de potencia, pero disminuiría la eficiencia; por el contrario disminuirla mejoraría la eficiencia, pero reduciría el factor de potencia.

Este diámetro puede determinarse por medio de la siguiente ecuación:

$$D_1 = \frac{D - 16.434}{1.175 + 1.03/P}$$

La cual es aplicable para diámetros del rotor entre 3 y 15 pulgadas, con D y D_1 expresadas en mm.

Longitud del entrehierro.- Una longitud de entrehierro pequeña trae como consecuencia valores reducidos de corriente magnetizante, menores cúspides y parea muertos en la curva par-velocidad y un aumento en la eficiencia y el factor de potencia. Sin embargo si el entrehierro es demasiado pequeño provocará que las reactancias de dispersión de zig-zag, de banda y por inclinación de ranuras aumenten. Por otro lado un entrehierro grande implica ciertas ventajas mecánicas, como por ejemplo se reduce el riesgo de fricción entre el rotor y el estator, lo cual ayuda a disminuir fuerzas por desbalances mecánicos.

Veinott^[14] propone una ecuación práctica para determinar esta longitud en motores polifásicos con diámetro interno de hasta 203.3 mm (8 pulg.). La ecuación es la siguiente:

$$G = 0.127 + \frac{0.0042 D_1}{\sqrt{P}}$$

Donde:

G = Longitud del entrehierro

P = Número de polos (Hasta 6 polos)

D_1 = Diámetro interno del estator.

Selección del número de ranuras.- Esta depende básicamente del tipo de devanado a utilizar. Para el caso de un motor trifásico el número de ranuras debe ser divisible entre tres y para motores de 6 polos el número de ranuras deberá ser divisible entre 9 para tener un devanado balanceado^[15]. Un número grande de ranuras en el estator reduce la reactancia de dispersión en Zig-zag y en las mismas ranuras (con lo cual se obtiene un mayor par de salida), pero conforme se aumenta el número de ranuras se empobrece el *factor de llenado*^[16] y se dificulta

^[14] VEINOTT C.G. "Theory and design of small induction motors", Mc graw-hill, book Co. New York, 1959, 532 pp.

^[15] VEINOTT C.G., "Fractional and subfractional horsepower electric motors", Ed Mc graw hill, Cuarta edición, 1987, 477 pp.

^[16] El factor de llenado es la relación entre el espacio ocupado y el espacio total de la ranura. Esta no debe exceder de 0.75 para motores de 2 polos y de 0.80 para motores de 4 ó mas polos.

la fabricación de los dientes. La tabla 4.6. muestra el número de ranuras recomendado para los motores de inducción trifásicos.

POLOS	Número de ranuras del estator							
2	24	36	42	48	54	60	66	72
4	24	36	**	48	**	60	**	72
6	**	36	**	**	54	**	**	72
8	24	**	**	48	**	**	**	72

Tabla 4.6. Número de ranuras del estator recomendadas para motores de inducción trifásicos.

Tipos de ranuras.- Existen básicamente dos tipos: las del tipo abierto y las del tipo semicerrado. Las del tipo abierto son generalmente de tipo rectangular (Ver figura 4.9.). Al utilizar este tipo de ranuras debe de tenerse en cuenta que la abertura de las mismas tiene un efecto notable en la reluctancia del entrehierro; por lo que las proporciones de las ranuras del rotor y del estator deben ser tales que logren variaciones mínimas de dicha reluctancia, mismas que se presentan cuando las ranuras del rotor pasan en frente de las del estator.

Las ranuras semicerradas por lo regular son trapezoidales con dientes de caras paralelas y pueden tener fondo redondeado ó fondo plano (fig 4.7). La ventaja de las ranuras semicerradas estriba en que la mayor superficie de la cabeza del diente reduce la reluctancia del entrehierro y la dispersión de flujo. Pero este tipo de ranuras dificulta la elaboración del devanado e incrementa su costo.

El tamaño de las ranuras del estator depende del número de conductores por ranura, del calibre del conductor y del aislamiento. Sus dimensiones principales se determinan por medio de fórmulas experimentales desarrolladas en la práctica, mientras que el resto son simples cálculos geométricos.

Entre las dimensiones más críticas de la ranura se encuentran: su abertura y el borde del diente para el caso de ranuras semicerradas. Un valor pequeño de abertura de ranura dificultará la inserción de las bobinas ó incluso podrá impedirla; mientras que un valor muy grande aumentará las armónicas en los bordes, la longitud efectiva del entrehierro y las pérdidas en la máquina. Un borde de diente muy grande provocará mayor reactancia de dispersión en la ranura.

La profundidad de la boca de la ranura debe ser lo más pequeña posible para tener un bajo valor de reactancia de dispersión y disponer de mayor espacio en la misma; sin embargo, debe ser lo suficientemente grande para proporcionar un borde de diente fuerte y evitar la saturación; también se debe tener en cuenta que un diente muy pequeño corre el riesgo de saturarse y dificulta su fabricación.

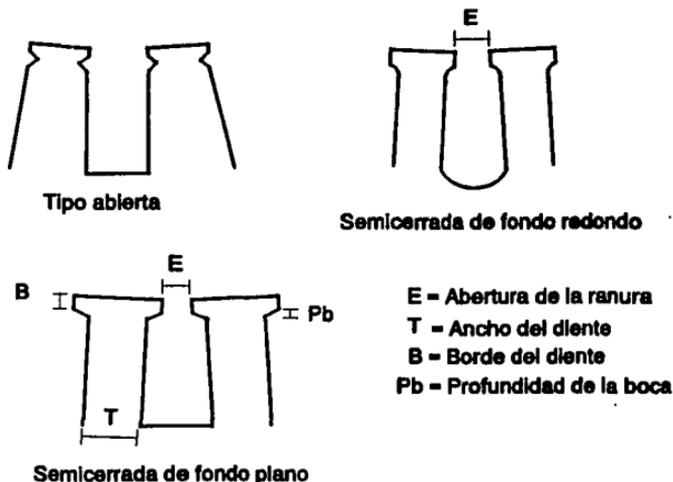


Fig. 4.7. Tipos de ranuras del estator.

Yugo del estator.- la profundidad radial del yugo del estator esta en función de la densidad de flujo máxima en éste, las dimensiones del estator y el número de polos.

Es importante hacer notar que cuando se diseñan las laminaciones para un motor con diferentes potencias y velocidades, se debe de hacer un ajuste adecuado de todas la densidades de flujo presentes en la máquina para cada modo de operación. En general a mayor número de polos, mas trabajaran los dientes, mientras que a menor número de polos es el yugo el que trabaja con mayor densidad de flujo.

4.7.2. DIMENSIONAMIENTO DEL ROTOR.

El núcleo de los rotores de los motores de inducción está constituido por una serie de láminas redondas ranuradas y ensambladas a presión sobre un eje o flecha. Estas laminaciones son hechas con el mismo tipo de acero utilizado en las del estator y también reciben el tratamiento térmico de recocido.

El diseño del rotor jaula de ardilla es indudablemente uno de los aspectos más importantes en el motor, pues representa un factor primordial para la operación durante el arranque^[17] y marcha normal.

Número de ranuras del rotor.- La elección de un gran número de ranuras en el rotor generalmente es ventajoso porque minimiza las reactancias de ranura y zig-zag, y también ayuda a reducir las cúspides y pares muertos en la curva par velocidad. Sin embargo las pérdidas indeterminadas se verán afectadas por la diferencia entre el número de ranuras del estator y rotor; particularmente si hay mas ranuras en el rotor que en el estator.

La elección del número de ranuras es un aspecto que depende en gran parte de la experiencia del diseñador, pues cabe mencionar que existen combinaciones teóricamente inadmisibles que funcionan aceptablemente en la práctica, mientras que otras irreprochables en la teoría ocasionan dificultades.

Existen reglas desarrolladas por los diseñadores en las cuales se proponen diferentes combinaciones a utilizar. A continuación mencionamos las reglas que al respecto propone Veinott:

- Hacer el número de ranuras divisible por el número de polos.
- Para marcha silenciosa S_2 (número de ranuras en el estator) debe diferir de S_1 (número de ranuras del rotor) en un 20% ó mas.
- Para reducir las pérdidas indeterminadas, S_2 debe ser ligeramente menor que S_1 , aproximadamente un 15%.

^[17] El rotor no solo debe ser capaz de desarrollar la potencia de salida nominal, sino que también debe ser capaz de absorber y disipar la energía cinética total de la carga en el arranque.

- Para tener una baja reactancia de dispersión, S_2 debe ser mayor que S_1 .
- Usar combinaciones que hayan dado buenos resultados en la práctica.

En la siguiente tabla se enumeran algunas combinaciones prácticas con respecto a los puntos anteriores.

POLOS	S_1	S_2
2	24	16, 18, 22, 28, 31, 34
	36	16, 24, 25, 28, 48
	48	40, 52, 58
	60	48
4	36	24, 28, 30, 40, 42, 44, 48, 60
	48	40, 42, 44, 56, 60, 84
	60	44, 48, 50, 72, 76, 84
6	36	30, 31, 39, 42, 44, 48, 54
	54	48, 65, 72, 88
	72	54, 57, 84, 87, 89, 90, 96
	48	60, 72
	72	84, 89, 96

Tabla 4.7. Ranuras recomendables para el estator y rotor de motores jaula de ardilla.

Inclinación de las ranuras.- La inclinación de las ranuras es una técnica que ayuda a eliminar los efectos de los armónicos de ranura. La inclinación puede hacerse tanto en las ranuras del estator como en las del rotor, pero en la práctica es más común inclinar las ranuras de éste último.

El ángulo de inclinación que debe darse a las ranuras no está del todo normalizado. Por ejemplo Kuhlmann^[13] indica que al emplear ranuras diagonales, estas se inclinen aproximadamente un paso de ranura del estator ó del rotor (el que sea mayor). Este criterio a dado buenos resultados prácticos y por lo consiguiente puede considerarse aceptable.

[13] KUHLMANN, J.H, "Diseño de aparatos eléctricos", CECSA, Sexta edición, México 1977, 579 pp.

Sin embargo, el uso de ranuras inclinadas, produce un pequeño incremento en la reactivancia de dispersión y en las pérdidas del hierro. Pero aun así, es una práctica que debe seguirse para obtener motores con buenas características de operación.

Tipos de ranuras.- La configuración geométrica de la ranura y la sección transversal de la barra, combinadas con la conductividad del material de la misma, determinan la mayoría de las características de operación del motor (Corriente y par de arranque, par máximo, deslizamiento, pérdidas en el rotor, factor de potencia, eficiencia y elevación de temperatura.)

Las ranuras del rotor pueden ser del tipo semicerrado ó completamente cerrado. Las formas más comúnmente utilizadas son: la cerrada ovalada, la cerrada trapezoidal y la semicerrada rectangular (fig. 4.8).

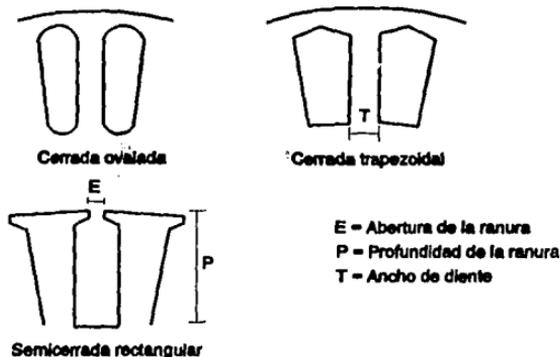


Fig. 4.8. Tipos de ranuras utilizadas en rotores jaula de ardilla

Sus dimensiones más críticas son: Su profundidad, apertura y ancho de diente. La profundidad de la ranura afecta notoriamente el par y la corriente de arranque en la máquina. La apertura de las ranuras se hacen lo mas pequeño posible con el objeto de reducir el ruido y la corriente magnetizante. En el caso del ancho de diente, éste debe elegirse de tal forma que no cause problemas de saturación ni mecánicos.

Un parámetro que generalmente es manipulado para obtener las características de operación deseadas (par y corriente de arranque), es la profundidad de las ranuras. Pero, se debe tener en cuenta que al variar éste parámetro variarán otras características del motor como lo es la resistencia del rotor. Por ésta razón si en un diseño se opta por alterar la profundidad de las ranuras, será necesario recalcular todos los parámetros del motor.

Yugo del rotor.

Puesto que el flujo magnético es menor en el circuito del rotor que en el estator, la longitud del yugo del rotor puede ser mas pequeña. Veinott recomienda esta longitud como un 95 % de la longitud del yugo del estator.

4.7.3. DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO.

El circuito eléctrico del motor de inducción se compone de dos devanados independientes entre sí, uno en el rotor y el otro en el estator. La sección transversal de los conductores es una consideración muy importante en el diseño, que debe elegirse de tal forma que se eviten pérdidas y elevación excesiva de temperatura durante la operación normal del motor.

En esta etapa del diseño se deben de especificar el tipo de devanado a utilizar y calcular características tales como número de bobinas por grupo, número de circuitos en paralelo, número de grupos, factores de paso y distribución, número de conductores en serie por fase, flujo por polo y número de conductores por ranura (el cual depende del número de ranuras, conductores en serie por fase y número de circuitos en paralelo).

Un valor preliminar de la corriente por fase se evalúa por medio de la siguiente ecuación.

$$I_F = \frac{746 CP}{3 V_F \eta F_P}$$

Donde:

I_F = Corriente de fase preliminar.

η = Eficiencia

F_P = Factor de potencia

V_F = Voltaje de fase

CP = Potencia en HP.

Donde se puede considerar un valor de factor de potencia promedio de 85% y una eficiencia (η) del 90%. Con éste valor se obtiene la densidad de corriente en el estator dada por:

$$D_e = \frac{I_F}{P_{AR} q A_{ER}}$$

Donde:

D_e = Densidad de corriente en el estator^[19] en Amp/CM ^[20]

I_F = Corriente de fase preliminar

P_{AR} = Número de conductores empleados en paralelo

A_{ER} = Area efectiva de la sección transversal en CM

q = Número de circuitos en paralelo.

Circuito eléctrico del rotor.- Como ya se ha mencionado el circuito del rotor consiste en una jaula de ardilla. Debido a que las tensiones inducidas en cada barra cuando el rotor está en reposo no alcanzan los 10 volts, generalmente no es necesario aislar las barras del núcleo (en motores de bajo voltaje).

En los rotores de este tipo, las barras bajo cada polo se encuentran conectadas en paralelo y las corrientes bajo polos contiguos circulan en direcciones opuestas (ver figura 4.9).



Fig. 4.9. Corrientes en un rotor del tipo jaula de ardilla

^[19] La densidad de corriente en motores abiertos usualmente está alrededor de $1/328 \text{ Amp/Mc} = 6 \text{ Amp/mm}^2$

^[20] CM es la abreviación de Circular Mil, el cual equivale al área de un círculo cuyo diámetro vale una milésima de pulgada.

$1 \text{ mm}^2 = 1973.525241 \text{ CM}$

Un parámetro que se debe tomar en cuenta es la corriente eficaz que circula por cada anillo la cual está dada por la suma geométrica de S_2/P vectores (tantos como barras por polo) defasados regularmente entre sí por un cierto ángulo. Esta corriente eficaz en cada anillo se calcula por medio de :

$$I_A = \frac{S_2 I_B}{P \pi}$$

Donde:

S_2 = Número de ranuras del rotor

P = Número de polos

I_B = Corriente por barra

La densidad de corriente en los anillos es por tanto:

$$D_{cc} = \frac{I_A}{A_{cc}}$$

Y la densidad de corriente en las barras es igual a:

$$D_R = \frac{I_B}{A_{R2}}$$

Donde:

D_R = Densidad de corriente en las barras del rotor

I_B = Corriente por barra

A_{R2} = Area neta de la ranura del rotor.

D_{cc} = Densidad de corriente en los anillos

A_{cc} = Sección transversal de los anillos de corto circuito.

Para aplicación práctica, ambas densidades de corriente pueden ser consideradas iguales. De esa manera, se puede demostrar que la sección transversal de los anillos de corto circuito puede ser calculada como:

$$A_{cc} = \frac{S_2 A_{R2}}{\pi P}$$

Cabe aclarar que el valor de densidad de corriente en el rotor puede ser mayor que en el estator, debido a que aquí la longitud media de la espira es menor y la ventilación mayor. El calentamiento de las barras y los anillos desnudos no se encuentra sujeto a las limitaciones de temperatura por causa del aislamiento, pero afecta al devanado del estator por radiación y puede traducirse en un calentamiento excesivo en los cojinetes y eje. Las densidades de corriente en rotores varían entre 7 y 8 Amp/mm² para el cobre, y en razón inversa a la resistividad del material si se trata de aluminio, latón o bronce.

La selección del total de cobre en el rotor se escoge en relación a la longitud de la barra y la sección transversal de los anillos, de tal forma que se tenga una resistencia de rotor de acuerdo a los requerimientos de par de arranque. Kuhlmann recomienda que la sección de cobre en el rotor sea del 50 al 80% de la sección total de cobre del estator. Las secciones totales de cobre para el rotor y el estator se calculan por medio de :

Para el rotor:

$$S_{TR} = \text{Area de la ranura del rotor} \times \text{número de barras} = A_{R2} \times S_2.$$

Para el estator:

$$S_{TE} = C_e q m A_{ef}$$

De donde: q es el número de circuitos en paralelo, C_e son los conductores en serie, m es el número de fases y A_{ef} es el área efectiva del conductor utilizado.

4.7.4. CALCULO DEL CIRCUITO MAGNÉTICO.

En la figura 4.10. se puede observar la trayectoria que sigue el flujo magnético en el motor. Se aprecia que el flujo sale a través del yugo del estator y dientes, cruza el entrehierro, pasa a los dientes del rotor y llega al yugo del mismo. En éste punto el flujo por polo se divide a la mitad regresando cada parte a través de los dientes del rotor, entrehierro dientes y yugo del estator de los polos adyacentes. De acuerdo a esto el circuito magnético del motor puede considerarse como cinco partes conectadas en serie^[21]:

[21] Las partes del circuito magnético se consideran conectadas en serie debido a que tienen la misma reluctancia en todas las posiciones del eje del flujo como se observa en la figura 4.10., debido a la forma cilíndrica del estator y del rotor, y a su concentración.

- 1.- Yugo del estator
- 2.- Dientes del estator
- 3.- Entrehierro
- 4.- Dientes del rotor
- 5.- Yugo del rotor

En general el problema de diseño del circuito magnético es calcular los amper-vuelta totales necesarios para mantener el flujo inductor requerido en el entrehierro; para lo cual se debe de contar con la curva de saturación (**B-H**) del material^[22]. El procedimiento usual es estimar la densidad de flujo para cada parte, consultar en la curva **B-H** los Amper-vuelta/m correspondientes y multiplicarlos por la longitud efectiva de la trayectoria magnética. Finalmente se suman todas las componentes de Fmm para obtener los Amp-Vueltas totales del circuito.

Para todos los cálculos anteriores, el punto de partida es suponer que la densidad de flujo en el entrehierro es senoidal. Esto trae como consecuencia algunos errores que en general no son significativos.

Factor de Carter.- La longitud efectiva del entrehierro es afectada por el tipo de ranuras que se utilice y por la abertura de las mismas. Existen dos factores que se han propuesto para corregir la longitud efectiva del entrehierro uno de los cuales es el *Factor de Carter*, el cual expresa un porcentaje de incremento en la reluctancia del entrehierro debido, a los efectos anteriormente mencionados. Este factor se calcula:

$$K_{C_1} = \frac{F_{DS} (5G + E_1)}{F_{DS} (5G + E_1) - E_1^2}$$

Y para el rotor:

$$K_{C_2} = \frac{F_{DR} (5G + W_0)}{F_{DR} (5G + W_0) - W_0^2}$$

^[22] Estas curvas son obtenidas en base a las pruebas normalizadas Epstein, las cuales tienen como objetivo determinar las propiedades magnéticas intrínsecas de los materiales magnéticos.

Donde:

KC_1 = Factor de Carter para el estator.

KC_2 = Factor de Carter para el rotor.

G = Longitud del entrehierro.

E_1 = Abertura de la ranura del estator.

W_o = Abertura de la ranura del rotor.

P_{DR} = Paso del diente del estator.

P_{DR} = Paso del diente del rotor.

Una vez calculados ambos factores, el factor total es:

$$KC = KC_1 KC_2$$

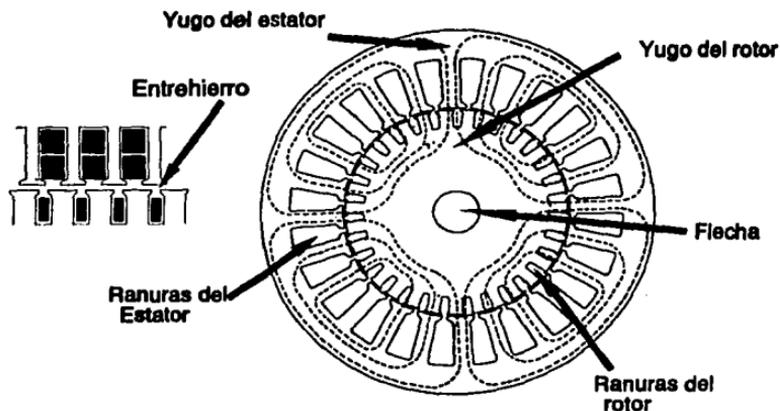


Fig. 4.10. Circuito magnético del motor de inducción trifásico

Factor de saturación.- El otro factor es el llamado de saturación, el cual se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$F_s = \frac{\sum AV}{AVG}$$

Donde:

F_s = Factor de saturación.

AVG = Amperes-vuelta para el entrehierro.

∑ AV = Amperes-vuelta totales.

Finalmente la longitud efectiva del entrehierro está dada por:

$$G_{EF} = F_s K C G$$

Una vez determinada la fuerza magnetomotriz total de la máquina, se calcula la corriente magnetizante dada por la siguiente expresión:

$$I_m = \frac{0.74 \sum AV P}{C_e K_w}$$

Donde:

I_m = Corriente de magnetización

C_e = Conductores en serie eficaces

P = Número de polos

K_w = Factor de devanado

∑ AV = Amperes-vuelta totales.

4.7.5. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

En ésta etapa del diseño se deben de obtener valores de: Potencia de salida útil, Par de arranque, corriente de arranque, par máximo, factor de potencia, eficiencia y deslizamiento a carga nominal. Una vez finalizados los cálculos para obtener las características anteriores, éstas deberán de ser comparadas con las especificaciones iniciales y si existen diferencias, el diseño deberá ser repetido alterando algunos parámetros.

Para el cálculo de las características anteriormente mencionadas, es necesario partir del circuito equivalente de *Steinmetz*. Por lo tanto es conveniente realizar el cálculo de cada una de las reactancias de dispersión en la máquina. En el capítulo anterior se definió la reactancia de dispersión como aquella que es generada por los flujos dispersos en la máquina. Esta reactancia es uno de los factores más importantes que se deben de tomar en cuenta en el diseño del motor de inducción, pues el par máximo es función de este parámetro (ver sección 3.14.).

REACTANCIAS DE DISPERSION.- La reactancia de dispersión total de un motor de inducción con jaula de ardilla se obtiene sumando las reactancias de dispersión primaria y secundaria, las cuales están compuestas básicamente de cuatro elementos:

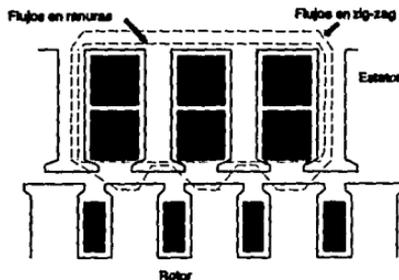


Fig. 4.11. Flujos de dispersión en Zig-zag y en las ranuras de una máquina de inducción.

- a) Reactancia de dispersión en las ranuras
- b) Reactancia de dispersión diferencial
- c) Reactancia de dispersión en cabezales
- d) Reactancia de dispersión por inclinación de ranuras

a) **Reactancia de ranura.** Es debida a los flujos dispersos que cruzan y rodean las ranuras (fig. 4.12), los cuales son creados por los conductores alojados en las mismas.

Estas a su vez pueden dividirse en cuatro componentes:

- a) La generada por el flujo que a traviesa la abertura de la ranura y rodea todos los conductores alojados en ella.
- b) La generada por los flujos que cruzan la boca de la ranura y rodea todos los conductores en ella.
- c) La generada por el flujo que a traviesa por la parte superior de los conductores rodeando todos ellos.
- d) La generada por el flujo que a traviesa el cuerpo de la ranura y rodea solo una parte de los conductores.

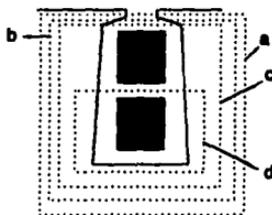


Fig. 4.12. Flujo de dispersión alrededor de una ranura

Cabe aclarar que si en una misma ranura existen dos bobinas correspondientes a fases diferentes, existirá entonces un flujo de dispersión mutuo entre estas fases que deberá también tomarse en cuenta.

b) Reactancia diferencial. Como ya se mencionó, debido a la distribución de los devanados en ranuras definidas, la circulación de corrientes senoidales produce Fmm no senoidales. Dando como consecuencia que se produzcan una serie de armónicos que inducen tensiones en los devanados, y por lo consiguientes contribuyen a la reactancia de los mismos.

La reactancia total debida a éstos armónicos es conocida como reactancia diferencial y se divide principalmente en dos componentes:

- i) Reactancia de Zig-Zag.
- ii) Reactancia de banda.

La reactancia de dispersión de Zig-Zag se diferencia de la reactancia de banda, en que las armónicas que la causan son independientes del paso del devanado, pero varían con el número de ranuras; mientras que los armónicos que causan la segunda son prácticamente independientes del número de ranuras, pero varían con el paso del devanado.

c) **Reactancia de dispersión en los cabezales.** Esta reactancia es producida por el flujo disperso en los cabezales de los devanados (ver figura 4.13.). El valor de la misma depende de la forma de las bobinas, de la proximidad con otros materiales magnéticos y otros factores que dependen de la manufactura del motor.

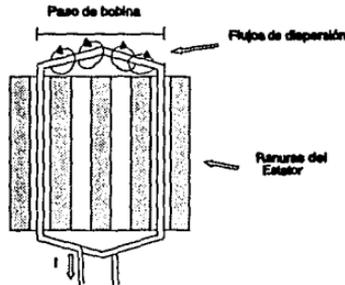


Fig. 4.13. Flujo de dispersión en los cabezales de una bobina

d) **Reactancia de dispersión por inclinación de las ranuras.** El diseñar al motor de inducción con ranuras inclinadas es una técnica que ayuda a eliminar algunos componentes armónicos de la onda de densidad de flujo ^[23]. Pero ésta acción provoca un incremento en la reactancia total de la máquina. Esta reactancia, debida a la inclinación de las ranuras (ya sea del rotor o del estator), es de hecho un componente adicional de la reactancia diferencial antes mencionada.

[23] GEORGE MCPHERSON, "Introducción a las máquinas eléctricas y transformadores", LIMUSA, Primera edición, 1987, 584 pp.

RESISTENCIA Y PESO DEL DEVANADO.- La resistencia y el peso del devanado del estator se evalúan partiendo de la longitud media del conductor, el número de conductores en paralelo, el calibre de los conductores y el número de circuitos en paralelo.

Para el caso de los devanados del rotor debemos de recordar que éste valor debe estar referido al devanado primario (estator). Para lo cual se sigue el siguiente procedimiento de cálculo ^[24]:

- 1.- Se supone un valor de corriente en cada barra
- 2.- Se calculan las pérdidas I^2R en todas las barras en base a la corriente supuesta y la resistencia óhmica de la misma, la cual se calcula a partir de las dimensiones y la resistencia específica.
- 3.- Se evalúan las corrientes en los anillos de corto circuito sumando las corrientes de las barras en la mitad de un paso polar.
- 4.- Se calculan las pérdidas I^2R en los anillos de corto circuito.
- 5.- Las pérdidas totales del rotor ($I_2^2 R_2$) expresadas en términos de las corrientes de barra, se obtienen sumando las componentes calculadas en 2 y 4.
- 6.- Se calcula la Fmm del rotor, expresada en términos de la corriente de un barra y se iguala a la Fmm del estator la cual esta expresada en términos de la corriente primaria. De aquí se obtiene una relación entre la corriente primaria y la secundaria.
- 7.- Las pérdidas $I_2^2 R_2$ pueden ser expresadas en términos de la corriente del estator (primaria). Finalmente se despeja el valor de la resistencia R_2 buscado.

Cabe mencionar que la uniformidad de la distribución de la corriente en los anillos de corto circuito depende fundamentalmente de su ancho (medido en dirección radial). Si el anillo es demasiado ancho, comparado con el paso polar, entonces la corriente proveniente de las barras del rotor tendrá que recorrer una distancia radial, antes de iniciar su trayectoria tangencial. En

^[24] El procedimiento matemático puede consultarse en el libro de VEINOTT "Theory and design of small induction motors" citado anteriormente, en las páginas 337-341.

vista de lo anterior es recomendable, según Trickey^[25], utilizar un ancho de anillo que no exceda el tamaño del paso polar (la mitad del paso polar es adecuado).

La existencia de flujo de dispersión en las ranuras provoca que la densidad de corriente en las barras del rotor no sea uniforme, teniéndose menos resistencia en la parte superior de la barra que en la inferior. A éste efecto se le conoce como de **ranura profunda** y ocasiona que la corriente preferentemente circule por la parte superior, aumentando las pérdidas I^2R . Este efecto es función de la frecuencia, del material de la barra, de su geometría y principalmente de su profundidad. Por ésta razón es conveniente aplicar un cierto factor de corrección a la resistencia del rotor calculada (el efecto de barra profunda es más apreciable en condiciones de arranque).

PERDIDAS EN EL NÚCLEO.- La pérdidas en el núcleo son calculadas en base a un serie de gráficas, que las presentan en función de la densidad de flujo para una cierta frecuencia y espesor de laminación definido. Estas curvas (Curvas de inducción de pérdidas específicas) son determinadas experimentalmente por el método de prueba Epstein^[26]

En la práctica es común despreciar las pérdidas en el rotor a condiciones de frecuencia nominal. Por lo que en general se calculan solamente las pérdidas en los dientes y yugo del estator.

PERDIDAS ADICIONALES EN EL NÚCLEO.- En términos generales las pérdidas indeterminadas en el núcleo son difíciles de calcular y es más conveniente estimarlas en base a pruebas a motores similares. Por ejemplo Kuhlmann recomienda que estimen de 1.75 a 2.2 veces la suma de las pérdidas en el yugo y los dientes.

PERDIDAS POR FRICCIÓN Y VENTILACIÓN.- La magnitud de estas pérdidas depende del tipo de cojinete utilizado, de la velocidad periférica del rotor y del coeficiente de fricción entre el cojinete y la flecha. Estas se expresan por lo general en un porcentaje de la potencia de salida; siendo aproximadamente iguales a 2% en motores de 2 polos, 0.8% en motores de 4 polos, 0.45% para motores de 6 polos y 0.35% para motores de 8 polos.

[25] TRICKEY P.H. , "Induction Motor resistance - Ring width", Trans AIEE, 1936, Pag 144.

[26] OSCAR DIAZ GONZALES. "Determinación de las curvas de inducción utilizadas en motores síncronos polifásicos", Estudio interno emitido por el Dpto. de equipos eléctricos, IIE, Junio 1992, 87 pp.

PERDIDAS INDETERMINADAS.- Se definen como el exceso de las pérdidas totales del motor a una corriente de carga dada, las cuales no se incluyen en la suma de las pérdidas I^2R a dicha corriente, las pérdidas en el núcleo y las pérdidas por fricción y ventilación. Estas pérdidas se deben a las fuerzas magnetomotrices producidas por la corriente de carga del motor, las cuales desvían parte del flujo magnético en el núcleo a trayectorias dispersas, creando pulsaciones de flujo y corrientes de eddy en las láminas, conductores y partes metálicas adyacentes. Entre los efectos adversos que producen las pérdidas indeterminadas en los motores de inducción, están el aumento marcado de la temperatura de operación y la reducción del par útil en la flecha.

Estas pérdidas se dividen en las siguientes componentes:

- 1.- Corrientes de Eddy en los conductores del devanado primario debidas al flujo de dispersión en las ranuras.
- 2.- Pérdidas en la estructura metálica del motor debidas a flujos de dispersión.
- 3.- Pérdidas superficiales de alta frecuencia provocadas por los flujos de dispersión en Zig-zag.
- 4.- Pérdidas por pulsaciones de alta frecuencia en los dientes del rotor, también debidas a los flujos de dispersión en Zig-zag.
- 5.- Pérdidas I^2R en el rotor debidas a las corrientes circulantes inducidas por el flujo de dispersión de banda del devanado del estator.
- 6.- Pérdidas adicionales en el hierro provocadas por la inclinación de las ranuras.

La magnitud de éstas pérdidas se evalúan como un 3.2% de la potencia nominal para motores de 1 HP y 1% para motores de 500 HP.

RESOLUCIÓN DEL CIRCUITO EQUIVALENTE.- En la resolución del circuito equivalente, es recomendable realizar los cálculos para los siguientes 8 puntos a los siguientes porcentajes de carga nominal: 0, 25, 50, 75, 100, 115, y 150. Además, se debe de calcular para las siguientes condiciones.

- Condiciones nominales.
- Condiciones de par máximo.
- Condiciones de arranque.

En el capítulo anterior se presentó el circuito equivalente para el motor de inducción con una jaula de ardilla. A continuación se presenta el circuito equivalente para un motor con dos jaulas.

Circuito equivalente para un motor con doble jaula de ardilla.- Los motores con doble jaula de ardilla (*Diseño C*) pueden adoptar una gran cantidad de combinaciones. Aquí solamente se contempla el caso de aquellos con el mismo número de conductores en cada jaula y anillos de cortocircuito comunes.

En la figura 4.14. se observa una ranura del rotor de un motor de éste tipo, y podemos ver que no todos los flujos de dispersión enlazan ambas barras, dando como consecuencia que se genere una inductancia mutua entre las mismas. En otras palabras, una corriente inducida en cualquiera de las barras inducirá un voltaje en la otra.

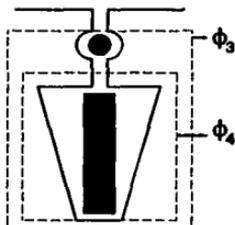


Fig. 4.14. Ranura de un rotor con doble jaula de ardilla.

El circuito equivalente para un motor de una jaula es modificado agregando algunos parámetros extras para obtener el circuito equivalente de un motor con doble jaula, que se muestran en la figura 4.15. En dicha figura tenemos:

- R_1 , X_1 , X_m y R_c son los mismos parámetros manejados en el circuito de una sola jaula.
- X_{34} es la reactancia de dispersión mutua entre los conductores de las dos jaulas.
- X_3 es la reactancia de dispersión de la jaula colocada en la parte superior del rotor.

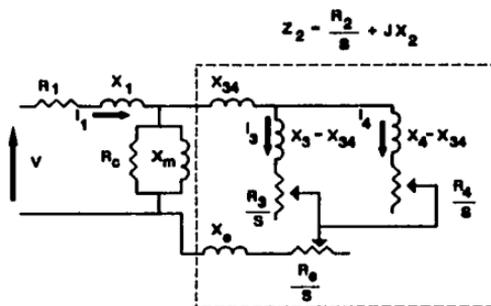


Fig. 4.15. Circuito equivalente para un motor de inducción con doble jaula de ardilla

X_4 es la reactancia de dispersión de la jaula inferior en el rotor.

R_3 es la resistencia por fase de la jaula superior.

R_4 es la resistencia por fase de la jaula inferior.

X_e es la reactancia de dispersión del anillo de cortocircuito común a las jaulas.

R_e es la resistencia por fase de los anillos de corto circuito.

Los cálculos pueden realizarse reduciendo el circuito anterior a un circuito más sencillo. Si decimos que :

$$Z_3 = \frac{R_3}{s} + j(X_3 - X_{34})$$

$$Z_4 = \frac{R_4}{s} + j(X_4 - X_{34})$$

$$Z_o = \frac{R_o}{S} + j(X_o + X_{3d})$$

Entonces por inspección de la figura:

$$Z_2 = Z_o + \frac{Z_3 Z_4}{Z_3 + Z_4}$$

La componente real de Z_2 será el equivalente de R_o/s del circuito de una sola jaula, y la componente imaginaria será jX_2 . Con esta reducción, el circuito equivalente anterior se maneja en la misma forma que para una sola jaula de ardilla.

En el caso de que el motor no tuviera un solo anillo de cortocircuito, la impedancia del anillo común se tomaría como cero y la impedancia de dispersión de cada par de anillos es adicionada a la impedancia de su propia jaula^[7].

ELEVACIÓN DE TEMPERATURA.- La potencia de salida continúa que se asigna a un motor está determinada básicamente por la elevación de temperatura a plena carga. Esta elevación de temperatura depende de las pérdidas totales en el motor y de la eficiencia de su sistema de ventilación.

En la mayoría de los casos se ha encontrado que las características de operación requeridas (pares, corrientes, eficiencia y factor de potencia) se pueden obtener mediante constantes de diseño del motor ajustadas adecuadamente. Contrariamente la elevación de temperatura, y por lo tanto la potencia de salida, son parámetros que imponen limitaciones físicas en el tamaño de la máquina.

Si la temperatura no es controlada, se producen efectos como deterioro de los aislamientos, aumentos en la resistividad del cobre (que traen como consecuencia un aumento en las pérdidas) y además las diferencias térmicas en el hierro y cobre dan lugar a esfuerzos y desplazamientos mecánicos, que causan deterioros progresivos.

Una forma de mantener la elevación de temperatura dentro de límites aceptables, es controlando parámetros tales como la densidad de corriente y densidades de flujo.

^[7] VEINOTT C.G. "Theory and design of small induction motors", Mc-graw hill, book Co. New york, 1959, 532 pp.

4.8. FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA

En la actualidad y debido a los altos costos que se tienen por la generación de energía eléctrica, el diseño de las máquinas eléctricas va encaminado a la producción de máquinas de alta eficiencia. En el caso del motor de inducción, en el capítulo 3 se mencionaron algunas técnicas utilizadas para lograr mejoras en la eficiencia de la máquina; no obstante en vista de que el diseño de la máquina de inducción involucra una gran cantidad de parámetros no es posible optimizar cada uno de ellos sin al mismo tiempo afectar a los otros. A continuación mencionamos algunos ejemplos al respecto:

- a) La temperatura del estator depende básicamente de las pérdidas I^2R , por lo tanto el diseñador pretendería minimizar R_1 y R_2 ; pero al hacer esto, el valor del par máximo se ve afectado; y lo mismo sucede con la corriente de arranque.
- b) Para minimizar las pérdidas en el núcleo es necesario mantener el flujo en un nivel bajo, pero ésta condición restringe el par máximo y por consiguiente el par de arranque.
- c) La eficiencia máxima se obtiene al minimizar las pérdidas, y esto puede conseguirse en algunos casos incrementando el entrehierro. Pero esto trae como consecuencia que el factor de potencia de la máquina baje, a consecuencia del aumento en la corriente de magnetización.
- d) Un intento para eliminar las pérdidas diversas es la eliminación de las ranuras inclinadas, pero esto causa ruidos en la operación de la máquina y dificultades en el par de arranque.

4.8.1. ASPECTOS DE APLICACION QUE AFECTAN LA EFICIENCIA

Es importante tener en cuenta que las diversas aplicaciones del motor tienen un impacto notable en cuanto a su eficiencia. A continuación se mencionan algunos puntos al respecto:

VOLTAJE DE DISEÑO.- Existe una tendencia hacia los altos voltajes en los sistemas de distribución para motores. Una razón es disminuir las pérdidas I^2R en los sistemas de distribución. Como regla general los motores de alto voltaje tendrán menores eficiencias que sus equivalentes en medios voltajes (para un dado HP/velocidad), y esto es

principalmente debido al incremento en los aislamientos, que causan un decremento proporcional en el espacio disponible para el cobre de la ranura, incrementando de esa forma las pérdidas I^2R .

OPERACIÓN A TENSIONES DIFERENTES A LA NOMINAL:

- a) Operando abajo del voltaje nominal.- Cuando el motor opera en esta condición (aun dentro de un 10% permitido), consumirá mas corriente para poder generar el par requerido, y las pérdidas I^2R aumentaran.
- b) Operación a voltaje mas alto .- Cuando el voltaje aumenta la corriente de magnetización aumenta al menos en función cuadrada. En algún punto dependiendo del diseño de la máquina la saturación vendrá y cerca del 10 al 15% de sobretensión la eficiencia comenzará a caer. Las pérdidas en el estator y el núcleo incrementarán y se presentará una caída en el factor de potencia de la máquina.
- c) Operación con voltaje desbalanceado.- Esta operación producirá voltajes de secuencia negativa las cuales causan pérdidas diversas que incrementan el calentamiento de los devanados.

TAMAÑO DEL MOTOR.- Es notable que un motor grande es mucho mas eficiente que uno pequeño, especialmente en el rango de 1-100 HP. Esto debido en parte al tipo de laminaciones que se utilizan para la construcción de los núcleos magnéticos.

CARGA.- Una falacia es que la máxima eficiencia ocurra siempre a plena carga. Si la eficiencia fuera el único parámetro de diseño esto podría ser verdad. Mientras el motor opera al 60% de carga no existen grandes variaciones en la eficiencia, pero cuando éste cae por abajo de ese rango, la eficiencia comienza a disminuir drásticamente.

CHUMACERAS.- La selección de las chumaceras tiene que ver con las pérdidas por fricción y ventilación en el motor. Dependiendo del tipo de chumaceras utilizado se tendrán diferentes niveles de pérdidas (incluso la viscosidad del engrasante afecta las pérdidas en la máquina).

CAMBIOS TÍPICOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA.- Algunas técnicas utilizadas por los diseñadores para disminuir las pérdidas en los motores de inducción son listadas a continuación:

Pérdidas en el estator (I^2R).

- 1.- Incrementar la sección del cobre en la ranura
- 2.- Incrementar tamaño de la ranura
- 3.- Disminuir la longitud de las extensiones de bobina

Pérdidas en el núcleo.

- 1.- Cambios en el tipo de acero eléctrico usado para la laminación
- 2.- Disminuir espesor de la laminación
- 3.- Mejorar procesos térmicos de tratamiento en las laminaciones

Pérdidas en el rotor (I^2R).

- 1.- Incrementar densidad de flujo en el entrehierro
- 2.- Incrementar tamaño de las barras del rotor
- 3.- Incrementar tamaño del anillo de corto circuito
- 4.- Incrementar la conductividad de las barras y anillos

Pérdidas por fricción y ventilación.

- 1.- Optimizar el diseño del ventilador
- 2.- Optimizar selección de chumaceras o cojinetes

Pérdidas diversas.

- 1.- Aislar las barras del rotor
- 2.- Incrementar entrehierro
- 3.- Eliminar inclinación de ranuras del rotor

CAPITULO 5

Estructura y desarrollo del tutorial

5.1. EQUIPO UTILIZADO EN LA ELABORACION DEL TUTORIAL

5.1.1. SOFTWARE UTILIZADO

Para la generación de una aplicación multimedia, generalmente se debe de contar con una variedad de programas de computadora que permitan manipular y editar adecuadamente todos los elementos que intervengan en la misma (voz, música, video, imágenes, etc.). Una presentación típica principalmente requiere de los siguientes programas:

- a) Programa editor de imágenes.
- b) Procesador de textos.
- c) Programa para digitalización de imágenes.
- d) Programa para captura de pantallas.
- e) Programa de edición y captura de audio.
- f) Programa editor de presentaciones.
- g) Programa para generación de animaciones.
- h) Programa para captura y edición de video.

En este caso en particular, para la elaboración del tutorial, se utilizaron prácticamente todos los paquetes antes mencionados, a excepción del programa para captura y edición de video.

Cada uno de los programas anteriores será brevemente descrito, mencionando algunas recomendaciones para su utilización, así como la aplicación que se le dio dentro del proceso de desarrollo del tutorial.

a) Programa editor de imágenes.

El software utilizado para la edición de imágenes, básicamente consistió en dos paquetes:

a) *Paintbrush*.- Programa incluido con Windows 3.1.

b) *Aldus Photostyler*. - Editor profesional de imágenes.

El *Paintbrush*, se utilizó principalmente para retocar dibujos digitalizados y en algunos caso, para generar imágenes en formatos de mapa de bits. La principal ventaja de este paquete es su sencillez, y sobre todo, la capacidad de manejar los detalles en las imágenes a nivel pixel (realizando un acercamiento). Sin embargo, este editor únicamente es recomendable para la edición de dibujos ya sea en blanco y negro ó color, no siendo recomendable para editar fotografías, dado que la calidad de las mismas se ve afectada al ser modificadas en este paquete. Para la edición de fotografías se recomienda el uso de un paquete profesional, tal como el *Aldus photostyler*.

Dentro del *paintbrush*, una de las herramientas mas utilizadas es el recorte (localizada en la parte superior de la paleta de herramientas), con la cual es posible seccionar un dibujo en varias partes, y si se desea, es posible generar varios archivos correspondientes a cada una de las partes de dicha imagen. Un ejemplo de la utilización de esta herramienta, es el despiece de un motor; primeramente se digitalizó el dibujo del motor con todas su partes incluidas. Luego se procedió a recortar cada una de estas partes y a iluminarlas adecuadamente (utilizando las herramientas de *paintbrush*). Por último cada parte se manejo como un archivo separado y se unieron finalmente dentro del programa de edición (*Auhtorware*), el cual se encarga de dar animación a cada una de las partes para simular el despiece.

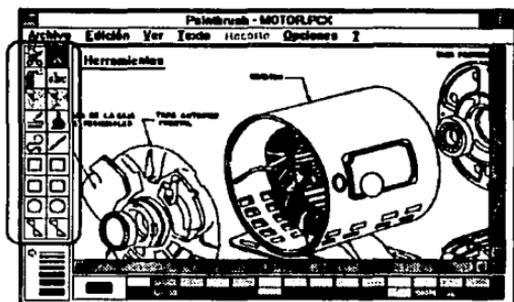


Fig. 5.1. Pantalla de trabajo con Paintbrush

Una ventaja adicional de este paquete, es que permite retocar los dibujos e inmediatamente exportarlos hacia el software editor. Esto se logra utilizando los comandos "copy" y "paste" del menú de edición. Primeramente se marca la sección de la imagen a ser exportada; luego se selecciona *copy* del menú de edición. Esto hace que la imagen sea almacenada en el portapapeles (un programa incluido con windows para exportar e importar texto e imágenes). Posteriormente se selecciona el comando *paste* del menú de edición dentro del paquete al cual se desee importar. Finalmente la imagen será pegada en la pantalla.

Sin embargo, algo que se debe de tomar en cuenta cuando se utilice el portapapeles para exportar e importar imágenes, es que la calidad de las imágenes exportadas se reducirá a las características del monitor utilizado; por ejemplo, si se tiene una fotografía con una definición de 256 colores, y el monitor usado únicamente soporta 16 colores, al exportar la imagen con el portapapeles, la calidad de la imagen resultante se reducirá a 16 colores.

Aldus photostylar es un paquete profesional para manejo y retoque de imágenes digitalizadas ó generadas por algún otro medio. Con este paquete es posible retocar fotografías, editar imágenes, hacer composiciones de imágenes, realizar ajustes de imagen tales como: cambiar contraste, brillo, tamaño, resolución, etc.

En nuestro caso particular, el programa se utilizó principalmente para retoque de fotografías digitalizadas^[1].



Fig 5.2. Pantalla de trabajo de Photostyler

Aunque *PhotoStyler* presenta una gran cantidad de características que pueden ser utilizadas para editar una imagen, en este trabajo, solamente se utilizaron algunas de ellas. Por ejemplo: Una de las características utilizadas fue la de ajustar el brillo y el contraste en las imágenes. Esto se logra de la siguiente manera: Primeramente se abre el archivo con el cual se va a trabajar, eligiendo *Open* del menú *File*. Una vez abierto se selecciona *Brightness and contrast* del submenú *Tune* en el menú *Image*. Oprimiendo el botón de expandir, se consigue que la imagen aparezca completa en el cuadro. Los ajustes pueden realizarse cambiando los valores de brillo y contraste dados, posteriormente se visualizan en la imagen al presionar el botón *Test 1* o *Test 2* (ver figura 5.3.).

Una de las ventajas encontradas en el paquete, fue su capacidad de rotar imágenes. Debido a esta característica es posible alinear imágenes que se digitalizaron, y que por algún motivo no

[1] Aunque el *PhotoStyler* ofrece la capacidad para editar dibujos, no es muy recomendable, puesto que se lleva mas tiempo y en la mayoría de los casos es mas conveniente usar programas como el *Paintbrush*

quedaron en la posición correcta. El paquete cuenta además con comandos de Zoom, escalamiento de archivos, generación de foto montajes (lo cual consiste en realizar una composición de dos imágenes, una montada sobre otra) ajustes de color en la imagen y muchas otras características, las cuales pueden ser aprovechadas al 100% consultando el manual de usuario.

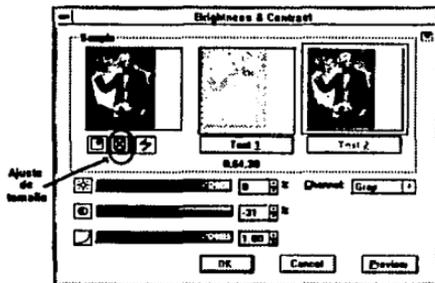


Fig 5.3. Cuadro para ajuste de brillo y contraste en Photostyler

Sin embargo, para un buen rendimiento en el uso de un paquete como este, siempre es recomendable contar con un monitor con una resolución adecuada (al menos de 256 colores).

b) Procesador de textos.

El uso de un procesador de textos es recomendado cuando se planea hacer una presentación en la cual se incluyen grandes cantidades de información escrita (Hipertexto). Para nuestro caso, el paquete editor utilizado (*Authorware*) cuenta con un editor de textos muy razonable, y la mayoría de los textos incluidos fueron tecleados ahí mismo. Sin embargo existían documentos generados en un editor de textos profesional (Word Perfect 5.1.) los cuales contenían información que en algunas ocasiones era necesario utilizar. Para poder utilizar dicha información fue necesario importarla desde el programa editor. El proceso seguido al importar la información se describe a continuación:

- 1.- Desde el WP se recupera el archivo el cual se requiera importar
- 2.- Una vez en el archivo, se elige la opción *exportar* del menú *archivos* en WP.

- 3.- Se selecciona la opción exportar *texto del dos*. Al hacer esto WP pedirá el nombre del archivo nuevo, dando como opción el nombre original pero con la extensión .TXT; una vez realizado esto, se generará un archivo con extensión .TXT en formato ASCII.
- 4.- Salir de WP e ir a *windows*. Dentro de *windows* se puede utilizar algún editor de textos para recuperar el archivo (tal como el write o el bloc de notas). Se recomienda utilizar el *Write*, puesto que el editor de notas solamente maneja archivos pequeños. Dentro del *write* se recupera el archivo con el comando *open* del menú *File*. Al recuperarlo, se le preguntará si desea convertirlo a formato Write; se elige la respuesta afirmativa.
- 5.- Una vez teniendo el archivo en *write*, se puede marcar el texto requerido con un bloque (usando el mouse) y utilizar el comando *copy* del menú *edición* para importar el texto al portapapeles.
- 6.- Finalmente, dentro del paquete editor (Authorware), se abre un icono de edición y se elige *paste* del menú de *edición*.

El procedimiento anteriormente descrito se aplicó directamente con el **Authorware**. El otro editor (**Image Q**) posee la capacidad de importar archivos de texto directamente (con extensión .TXT) sin hacer uso de un paquete intermedio (write). Sin embargo el **Image Q** no tiene un editor de texto tan amigable.

Por otra parte, si la cantidad de información (texto) que se requiera incluir en la presentación es demasiada, una opción es utilizar un software de reconocimiento óptico de caracteres (**OCR**), los cuales permiten fotocopiar páginas completas (con ayuda de un scanner por supuesto) y generar archivos con extensiones que son fácilmente reconocidas por los procesadores de texto comerciales.

c) Programa para digitalización de imágenes.

El utilizar un scanner, es prácticamente indispensable cuando se requiere generar una presentación multimedia, puesto que gracias a su ayuda es posible capturar y presentar en la pantalla dibujos y fotografías de alta calidad. El software para digitalizar utilizado, es el que se muestra en la figura 5.4.

Para obtener buenos resultados al digitalizar una imagen, es necesario estar familiarizado con algunos conceptos relacionados a la calidad de la imagen. A continuación se mencionan estos conceptos, y se dan algunas recomendaciones prácticas para digitalizar imágenes

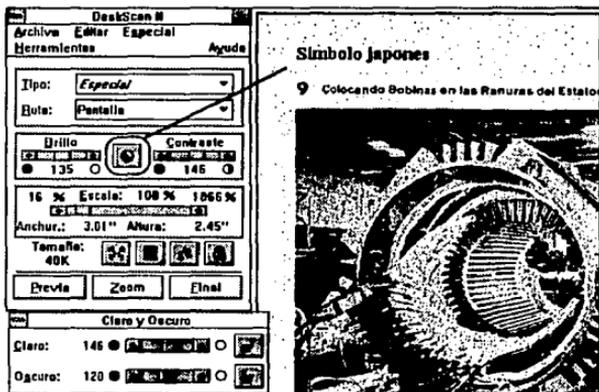


Fig. 5.4. Pantalla del software para scanner

Resolución.- La resolución en una imagen, se refiere al número de puntos por unidad de área, utilizados para representar dicha imagen. Si la imagen es mostrada en un monitor, la resolución queda definida en función de los pixeles por pulgada (PPI), en el caso de una impresora, la resolución se refiere al número de puntos impresos por unidad de pulgada (DPI). En un scanner, esto se refiere al número de pixeles muestreados por pulgada.

Entre mayor sea la resolución de la imagen, mayor será el tamaño del archivo. Por otra parte, no siempre la máxima resolución es la más indicada, puesto que si dicha imagen se va a desplegar en un dispositivo de salida (impresora ó monitor) de baja resolución, la calidad de la imagen será disminuida a la resolución manejada por dicho dispositivo, por ejemplo: Se puede digitalizar una imagen en formato de millones de colores, pero si la presentación de dicha imagen se realiza en un monitor VGA de 16 colores, la imagen simplemente se observara como

una simple foto de 16 colores; es decir, todos los datos que no puedan ser manejados por el dispositivo de salida serán ignorados. La forma de determinar el tamaño aproximado de un archivo digitalizado, es por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Tamaño} = \text{Altura} \times \text{Ancho} \times (\text{Resolución})^2 \times \text{bytes por pixel}$$

Donde el ancho y la altura se refieren al tamaño original de la imagen (en pulgadas), y los bytes por pixel dependen del tipo de imagen que se utilice (ver tabla 5.1).

Tipo de imagen	Bytes por pixel (bits por pixel)
Blanco y negro	0.125 (1)
16 colores	0.5 (4)
256 colores	1 (8)
256 tonos de gris	1 (8)
65 000 colores	3 (16)
Millones de colores	4 (24)

Tabla 5.1. Bytes consumidos por cada tipo de imagen.

Para determinar el valor adecuado de resolución de una imagen que será digitalizada, primeramente se debe tomar en cuenta el destino final de la misma; es decir, si la imagen se va a digitalizar para presentarse en un monitor, ó si esta se imprimirá. Si el destino final es una impresora, la resolución recomendada es:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Altura final de la imagen}}{\text{Altura original de la imagen}} \times \text{Hf} \times 2 \quad (5.1.)$$

Donde Hf (halftone frequency), es un parámetro que depende del tipo de impresora utilizado (el cual puede ser consultado en el manual de la misma). Para una impresora láser de alta calidad, este valor es de 133 LPI (líneas por pulgada).

Para el caso de una salida a monitor, se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Ancho de resolución del monitor}}{\text{Ancho de la imagen original}} \quad (5.2.)$$

La ecuación anterior se aplica solamente cuando se desea que la imagen aparezca en toda la pantalla; si por el contrario se desea que la imagen se presente en el monitor a su tamaño original, se aplica la siguiente expresión:

$$\text{Resolución} = \frac{\text{Dimensión mayor de resolución del monitor}}{\text{Ancho máximo desplegable del monitor}} \quad (5.3.)$$

Para entender el uso de las ecuaciones anteriores, a continuación de muestran dos ejemplos:

1.- Se requiere digitalizar una fotografía de 4 x 3 pulgadas, para que aparezca en toda la pantalla de un monitor VGA (640 x 480 píxeles). *Sol:* Utilizando la ecuación 5.2 obtenemos:

$$\frac{640}{4} = 160 \text{ ppi (píxeles por pulgada)}$$

Entonces el valor de la resolución mínima en el scanner debe ajustarse a 160 ppi.

2.- Se requiere digitalizar una fotografía de 4 x 3 pulgadas para ser presentada en un monitor SVGA (800 x 600 píxeles) a su tamaño original. *Sol:* Utilizando una regla, se determina que el ancho máximo desplegable del monitor es 11.75 pulgadas. Aplicando la ecuación 5.3. :

$$\frac{800}{11.75} = 68 \text{ ppi}$$

El scanner debe ajustarse a un valor no inferior a 68 PPI.

El procedimiento, con el cual se lograron los mejores resultados en la digitalización de imágenes, es el siguiente: Primero, dentro del software de digitalización, se selecciona la salida final de la imagen (en este caso *pantalla*) en la ventana marcada como ruta. Dentro del menú especial, se selecciona el submenú *Tipo de imagen*, dando como resultado que se presente el cuadro de diálogo mostrado en la figura 5.5. En este cuadro se selecciona el tipo de imagen a digitalizar, y para mejores resultados, se recomienda que en el cuadro marcado como

acentuación, se elija la opción de extra-densa. Una vez realizado lo anterior se elige el botón OK.

Una vez en pantalla original, se presiona el botón *Previo*, con lo cual se muestra la imagen en el monitor. Si se desea se puede elegir un *ZOOM* para realizar un acercamiento. Por último se selecciona el área a digitalizar en la pantalla (usando el mouse), y cuando se tenga perfectamente definida, se selecciona el botón *Final*^[2]. La extensión con la cual será guardado el archivo depende del programa con el cual se pretenda cargar la imagen; por ejemplo, si la imagen se va a editar en algún programa de windows, es recomendable utilizar extensiones *.BMP*. Cabe aclarar, que este procedimiento es aplicable cuando se desee que la salida final de la imagen sea un monitor.

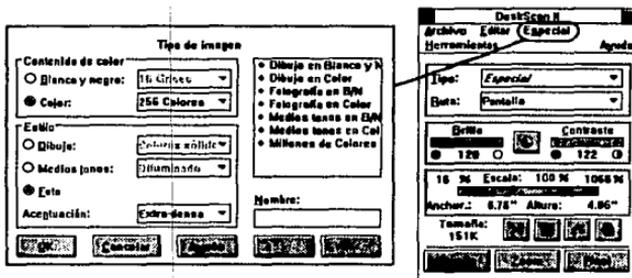


Fig. 5.5. Cuadro de dialogo para seleccionar el tipo de imagen, dentro del software de scanner.

d) Programa para captura de pantallas.

Un programa para captura de pantallas, es aquel que nos permite convertir el contenido de lo que se esta visualizando en el monitor, a un archivo (de mapa de bits) que posteriormente puede ser editado ó impreso.

^[2] El simbolo japonés (Ying Yang) sirve para hacer un ajuste automático de brillo y contraste en la imagen. Por lo cual, es recomendado aplicarlo para obtener mejores resultados (ver figura 5.4.).

Se utilizaron básicamente dos programas. El primero y mas sencillo, es la opción que *windows 3.1*. ofrece; esto es, utilizando la tecla *print screen*. Al presionar dicha tecla (obviamente dentro del ambiente *windows*), toda la pantalla visual en ese momento es capturada hacia el portapapeles. Si se requiere de alguna parte específica de la imagen capturada, será necesario editar el contenido del portapapeles utilizando algún programa (tal como el *paintbrush*).

El segundo programa es el *Paint shop pro*, el cual es un paquete especialmente diseñado para realizar este tipo de tareas. La ventaja de su uso radica en que uno puede seleccionar (por medio de una ventana) la sección de la pantalla que uno desee, y dentro del mismo paquete es posible editarla (escalarlo, quitar partes indeseables, cambiar color, etc).



Fig 5.6. Programa para captura de pantallas Paint Shop Pro.

La calidad de la imagen capturada queda definida por la características del equipo que se este utilizando (tipo de monitor y tarjeta controladora de video). Es decir, la imagen será guardada con la misma definición con que se observa en la pantalla.

Dentro del desarrollo del tutorial, este tipo de programas se usaron para la captura de imágenes cuyos formatos no eran compatibles con los paquetes utilizados. Como ejemplo podemos mencionar las fotografías de Faraday y Steinmetz (incluidas en el tutorial), las cuales

fueron copiadas de una enciclopedia multimedia que se tenía disponible. Cabe mencionar, que las figuras incluidas en el presente capítulo fueron capturada utilizando este método.

Una recomendación al usar este tipo de programas, es tener en mente que existen programas que incluyen fotografías, las cuales se encuentran protegidas con derechos de autor y no pueden ser copiadas libremente.

e) Programa de edición y captura de audio

Como se mencionó en el capítulo 2, la generación de audio en la computadora es una técnica que requiere un software especializado. En nuestro caso se utilizaron 2 programas:

1.- *Grabadora de sonidos*.- Programa incluido en windows 3.1.

2.- *Wave Studio*.- Programa para edición y captura de archivos de audio

La grabadora de sonidos (localizada en el grupo de accesorios de windows) es un programa sumamente sencillo de usar, el cual permite grabar y reproducir archivos de audio. Para grabar un archivo simplemente se oprime el botón marcado con un micrófono, y la grabación iniciará. Para detenerla, basta con oprimir el botón de paro. Una vez grabado un archivo, este se debe archivar con una extensión .WAV .

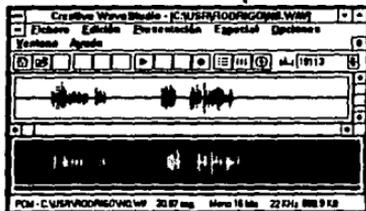
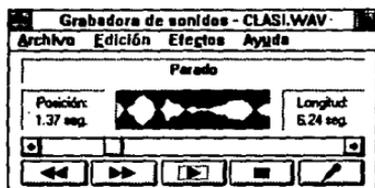


Fig 5.7. A la izquierda grabadora de sonidos, a la derecha Wave Studio.

Los archivos de audio grabados por este método tienen buena calidad de sonido, y debido a su sencillez, es muy recomendable grabar los archivos de esta forma. Sin embargo, una

desventaja es que no ofrece características adecuadas para editar los archivos (por ejemplo, para eliminar partes en blanco). Para realizar estas tareas es necesario utilizar un paquete más avanzado, tal como *Wave Studio*. Con *Wave Studio*, es posible también grabar y reproducir archivos; pero además presenta la ventaja de permitir visualizar la forma de la onda de señal generada, e incluso modificarla.

Dentro del *Wave Studio* es posible modificar las características de grabación de los archivos (frecuencia de muestreo y tamaño de la muestra) eligiendo *Record settings* del menú de opciones. Aquí cabe preguntarse ¿que frecuencia de muestreo y tamaño de muestra son adecuados?. Para responder a esta pregunta, es necesario recordar (capítulo 2) que entre mayores valores de estos parámetros se elijan, mejor será la calidad de sonido, pero a expensas de un gran tamaño del archivo. Una recomendación al respecto es la siguiente: De investigaciones realizadas, se obtuvo que los rangos de voz humana en promedio van de 100 Hz a 6 KHz; recordando el teorema de Nyquist, que nos dice que al digitalizar una señal analógica, la frecuencia de muestreo utilizada debe ser al menos el doble de la máxima frecuencia, podemos concluir que la frecuencia recomendada es de 12 KHz (11 KHz el estándar más cercano). Con respecto al tamaño de la muestra, una grabación de voz de 8 bits produce una calidad aceptable.

Las frecuencias de muestreo mayores, son recomendadas únicamente cuando se quiera grabar música ó sonidos de alta frecuencia.

Con respecto a los archivos de sonido, se recomienda¹⁾ no utilizar programa de compresión. La razón es la siguiente: Puesto que este tipo de programas se basan en datos repetidos, y los archivos de audio generalmente son bastante complejos y no tienen repeticiones, al intentar comprimirlos, el archivo final puede (en algunas ocasiones) exceder en tamaño al archivo original sin compresión.

Fondo musical.- Para la adición de fondos musicales en una presentación existen dos opciones: La primera consiste en simplemente colocar un *compact disc* de audio en la unidad de *CD-ROM* para que sea tocado durante el transcurso de la presentación; este método es sumamente sencillo, y por lo tanto muy recomendado. La segunda posibilidad consiste en grabar uno mismo la música deseada. Para la grabación de archivos musicales la opción más recomendable es generar

¹⁾ RON WODASKI "Multimedia Madness", Segunda edición, Estados Unidos, 1994, 1100 pp.

un archivo *MIDI* ¹⁴⁾. Estos archivos pueden ser generados por medio de un programa especialmente diseñado para realizar esta tarea (por ejemplo la utilidad incluida con Sound Blaster denominada *Órgano inteligente*). Sin embargo, para la utilización adecuada de este tipo de programas, es necesario que el usuario tenga un cierto grado de conocimientos musicales.

Para el caso del tutorial, no se generaron archivos musicales. Una opción tomada, fue la de incluir (en algunos puntos) archivos MIDI tomados de programas demostrativos, y en general mediante música de fondo obtenida de un *compact disc*.

f) Programa editor de presentaciones.

El programa editor de presentaciones es el núcleo del trabajo desarrollado, pues es el que se encarga de unir todos los archivos de imagen, texto, sonido, animación, e incluso video, para generar de esta forma la presentación final. Dentro de este tipo de programas se pueden distinguir básicamente dos categorías:

- a) Authoring Softwares.
- b) Programas para presentaciones.

El primero es comúnmente usado para la generación de kioskos, presentaciones de compañías de venta, cursos tutoriales y entretenimiento animado. Los segundos son programas que usualmente ofrecen menos detalles de control (interactividad) sobre el contexto multimedia, pero ofrecen herramientas poderosas para organizar presentaciones.

En el caso del tutorial, se utilizaron dos paquetes de este tipo, el *Authorware star* para *Windows* (perteneciente a la categoría de authoring softwares), y el *Image Q* (programa para presentaciones). A continuación se describe brevemente cada uno de ellos y se indica su aplicación en el presente trabajo.

AUTHORWARE.- Este fue el software de "batalla", es decir, en base a este programa se realizó la construcción de los módulos del tutorial.

¹⁴⁾ Aunque es posible grabar archivos musicales utilizando formatos .WAV, los espacios de almacenamiento requeridos para obtener una calidad aceptable, son enormes (ver tabla 2.2)

La forma en que authorware funciona es en base de una serie de iconos, los cuales tienen cada uno su propia función. Uniendo estos iconos en una secuencia específica, es posible construir las presentaciones, que en algunos casos pueden presentar estructuras complejas.

Los iconos del paquete son:



Icono de Despliegue.- Permite colocar texto, imágenes y gráficas en la pantalla.

Icono de animación.- Realiza movimientos de objetos colocados dentro de algún icono de despliegue desde una posición inicial hasta una final, especificando el tiempo ó la velocidad del movimiento.

Icono de borrado.- Borra el contenido de algún icono de despliegue.

Icono de pausa.- Permite interrumpir el flujo de la presentación hasta que el usuario presione un botón, haga click con el mouse o después de un lapso de tiempo.

Icono de decisión.- Al llegar la presentación a un icono de este tipo, elige un camino entre 2 o más ramas de iconos, dependiendo de los parámetros de la decisión.

Icono de interacción.- Presenta una situación al usuario donde tiene que responder (por medio de un botón, texto, movimiento de un objeto ó tocando un área específica) para seleccionar un camino dentro de la presentación.

Icono de cálculo.- Permite realizar cálculos aritméticos y lógicos para control del flujo de la presentación.

Icono de grupo.- Organiza y modulariza los iconos, dejando espacio para pegar mas de ellos. Es decir, dentro de este icono se pueden agrupar cualquier número de iconos que se desee

Icono de secuencias.- Permite colocar archivos de animaciones dentro de la presentación.

Icono de sonido.- Sirve para tocar archivos de sonido (música ó voz) e incluirlos en la presentación.

Icono de video.- Permite mostrar y correr un archivo de video en la presentación utilizando un control por cuadro para el video desplegado.

Banderas de arranque y paro.- Estas se utilizan para correr y editar segmentos de la presentación. Estas banderas solamente pueden utilizarse una vez dentro de la presentación (solamente son utilizadas durante la edición de la misma).

La pantalla de trabajo es la que se muestra en la figura 5.9., en ella simplemente se van colocando los iconos necesarios, y el programador debe decidir la lógica con que su presentación debe cumplir (para colocar un icono en la línea de flujo basta con arrastrarlo con el mouse hasta la posición deseada).

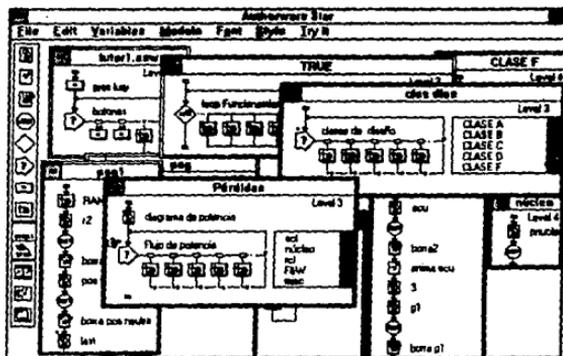


Fig 5.9. Pantalla de trabajo con Authorware.

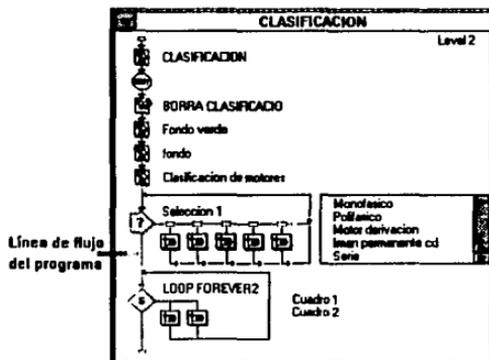


Fig. 5.10. Secuencia de iconos en la línea de flujo del Autohware.

Hablar de cada una de las opciones de cada icono, equivaldría a reescribir el manual del paquete; por lo que se recomienda consultar dicho manual si se desea obtener más información al respecto.

Sin embargo, podemos poner un ejemplo acerca de la secuencia construida (dentro del tutorial) para generar cambios de pantallas con la opción de avanzar y retroceder en el momento que se desee, simplemente oprimiendo el botón correspondiente. En la figura 5.11, se observa que dentro de un icono de interacción se incluyeron tres opciones, dos por medio de botones y una tercera por medio de una decisión. En el primer botón, se tiene un icono de cálculo, el cual realiza las operaciones necesarias para retroceder solamente una pantalla cuando éste es seleccionado. El otro botón realiza la misma función para presentarnos la pantalla siguiente.

Dentro del grupo de iconos se tiene la secuencia mostrada en la figura 5.11.(b); aquí, un icono de selección se encarga de elegir la rama correspondiente (la cual equivale a una página desplegada), dependiendo del valor de una variable, en la cual se almacena el número de página que se debe desplegar. Aunque en un principio puede parecer algo complicado el manejo de este paquete, con un poco de práctica, es posible dominar su uso.

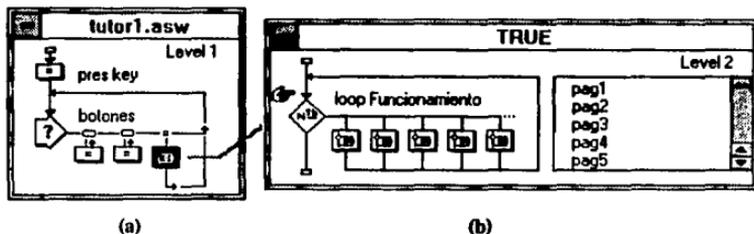


Fig. 5.11. Estructura para cambio de pantallas en Authorware

Quizás el mayor inconveniente de la versión utilizada de este paquete, es que solamente puede soportar 500 iconos como máximo en una presentación. Este inconveniente fue lo que realmente obligó a seccionar el tutorial y realizarlo por medio de módulos, que al final deberán ser entrelazados para obtener el curso completo. Por este motivo, fue necesario recurrir a la utilización de otro programa (*IMAGE Q*) que nos permitiera realizar esta función (entrelazar programas).

IMAGE Q.- *Image Q* es un programa editor de presentaciones, que presenta un lenguaje interno para el control de la misma. La utilización de este lenguaje propio, lo hace muy poderoso, pero al mismo tiempo le resta sencillez en su uso.

La tarea que realizó este programa, como ya se mencionó, prácticamente fue la de unir todos los módulos generados con el authorware (aunque cabe aclarar que también se generó un módulo del tutorial utilizando este paquete). La ventaja principal de utilizar este paquete, radica en que es 100% compatible con las aplicaciones windows, cosa que no podemos decir acerca del Authorware (el cual presenta una mayor compatibilidad con la plataforma Macintosh).

La forma de unir los módulos en el tutorial, consiste en utilizar el comando call. Por ejemplo la siguiente instrucción (dentro de *image Q*) ordena ejecutar un programa denominado *modul01.exe*.

Call "C:\modul01.exe" Maximized

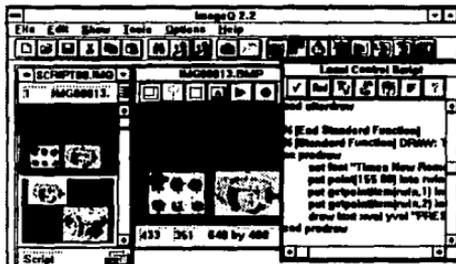


Fig. 5.12. Programa IMAGE Q.

La palabra maximized, indica que el programa *modulo1.exe* correrá en toda la pantalla. Para llamar a este comando, se puede definir un pushboton dentro de la presentación, de tal forma que al presionarlo se traslade el control hacia el programa invocado.

```
On Button 1
  Call "C:\modulo1.exe" Maximized
End button 1
```

La instrucción anterior ejecutará el programa *modulo1.exe* al ser presionado el botón definido como número 1.

g) Programa para generación de animaciones.

Un programa para generar animaciones es recomendable siempre y cuando se desee crear animaciones muy complejas. Para nuestro caso, el tipo de animaciones que se incluyeron en el tutorial fueron generadas directamente en el programa editor (Authorware). Este tipo de animaciones aunque eran sencillas (movimiento de dibujos), en general dieron muy buenos resultados, pues el incluir animaciones en una presentación ayuda definitivamente a captar la atención del usuario.

5.1.2. HARDWARE UTILIZADO

El desarrollo adecuado de un aplicación multimedia, depende enormemente del hardware utilizado para construirla. El elemento fundamental es por supuesto la computadora; para el desarrollo de este trabajo se utilizó una con las siguientes características:

- CPU 486 DX
- Velocidad de 40 MHz
- Monitor Super VGA
- Memoria Ram de 8 Mb
- Disco duro de 180 Mb

Para incluir sonido en el tutorial, se trabajo también con una tarjeta de audio y una unidad de CD-ROM, las cuales tienen las siguientes características principales:

CD-ROM

- Unidad de CD-ROM interna.
- Capacidad de almacenamiento de 640 Mb
- Buffer de memoria de 64 Kb
- Razón de transferencia 150/300 Kb/seg.
- Tiempo de acceso 230 mseg
- Respuesta en frecuencia: 100 HZ a 20 KHZ (audífonos)
20 Hz a 20 KHZ (línea de salida)

Tarjeta de audio.

- Tarjeta de sonido *Sound Blaster*, con generación de sonido en frecuencia modulada.
- 16 y 8 bits en sonido estéreo y monoral
- Formato de sonido estándar PCM
- Interfase MIDI
- Amplificador estéreo de 4 Watts por canal
- Frecuencias de muestreo de 5 a 44.1 KHz.
- Canales DMA usando solo una interrupción.

Bocinas.

- Potencia máxima de salida 6 Watts x 2
- Respuesta en frecuencia 100 a 18000 Hz.

- Distorsión armónica menor al 10% (1Khz , 1.3 W)
- Impedancia de 8 ohms

El scanner utilizado también desempeñó un papel muy importante dentro del desarrollo del tutorial; las características básicas del mismo son las siguientes:

- Scanner tipo plano Hewlett Packard
- Modelo Scan Jet II
- Soporte de imágenes a color (capacidad de millones de colores).
- Soporte de imágenes en blanco y negro (256 tonos de grises)

5.2. ESTRUCTURACION DEL TUTORIAL

Como se mencionó anteriormente, el tutorial se encuentra estructurado por medio de módulos (la mayoría generados en *Authorware*), los cuales se pretenden entrelazar por medio de un programa principal una vez que se concluya con la generación de los módulos correspondientes a la segunda parte del tutorial^[5].

El diagrama de flujo de la estructura general del tutorial se muestra en la figura 5.13. En dicho diagrama se puede observar que el programa principal se encarga de llamar a cada uno de los módulos correspondientes; una vez que cualquiera de los módulos finaliza, el control regresa nuevamente al programa principal.

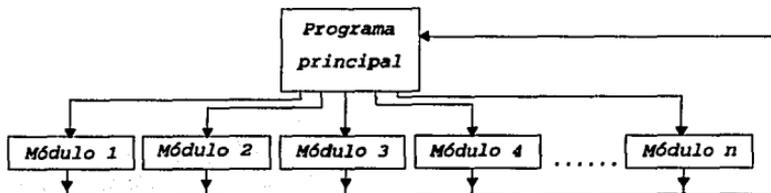


Fig. 5.13. Estructura general del tutorial

^[5] Cabe recordar, que el objetivo del presente trabajo de tesis es el de realizar únicamente la "primera parte" de un tutorial para diseño de motores de inducción trifásicos.

Cada módulo consta de una serie de fotografías y dibujos, combinados con texto y en algunos puntos audio (voz). También existen secuencias animadas, incluidas en puntos en donde se consideró que era necesario. La duración de cada uno de estos módulos depende enormemente de las características propias de aprendizaje de cada estudiante, por lo que sería muy aventurado dar un tiempo promedio.

Esta primera parte del tutorial esta compuesta por 6 módulos, en los cuales se exponen los conceptos básicos relacionados con el funcionamiento y operación del motor de inducción trifásico, de tal forma que se den las bases suficientes para comprender el proceso de diseño. Los módulos realizados son los siguientes:

Módulo Principios elementales.- Este módulo contiene las leyes fundamentales de la teoría electromagnética que rigen el comportamiento de cualquier máquina eléctrica. Las Leyes incluidas son: Ley de Faraday, Ley de Ampere, Ley de Lenz, generación de un voltaje inducido en un conductor y fuerza generada en un conductor dentro de un campo magnético (relación de *Biot-Savart*). El diagrama que ilustra la estructura del módulo se observa en la figura 5.14. Cada una de estas leyes consta de una breve explicación y en algunos casos una animación que facilita su comprensión.

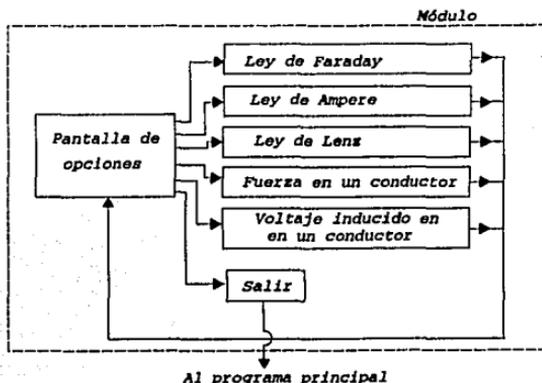


Fig. 5.14. Estructura del módulo principios elementales

Módulo Construcción del motor de inducción trifásico.- Este módulo contiene una explicación de las partes constructivas de la máquina de inducción, comenzando con el rotor (jaula de ardilla y devanado), estator, tipos de aislamientos, y finalizando con una serie de fotografías que muestran motores de inducción trifásicos de pequeña y gran potencia. La estructura interna del módulo se muestra en la figura 5.15. El módulo está estructurado en forma de una secuencia de grupos, denominados páginas, en las cuales se tiene la posibilidad de navegar (por medio de botones que aparecen en la pantalla) hacia la página siguiente ó hacia la página anterior. Al llegar a la última página, el módulo finaliza regresando el control hacia el programa principal.

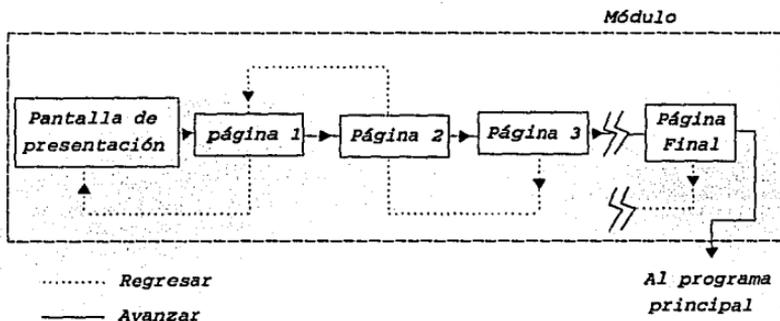


Fig 5.15. Estructura interna de un módulo con cambio de páginas.

Cabe aclarar, que una página no implica el uso de una sola pantalla. De hecho una página puede contener diversas estructuras; e incluso dentro de la misma se puede llegar a introducir un submódulo. La estructura general se muestra en la figura 5.16. Observe que la página comienza con una pantalla inicial, y posteriormente se pueden generar varias opciones, ya sea: una secuencia de pantallas complementarias, una animación, una interacción con una serie de opciones o un ciclo, en el cual se muestran figuras que se repiten un cierto número de veces.

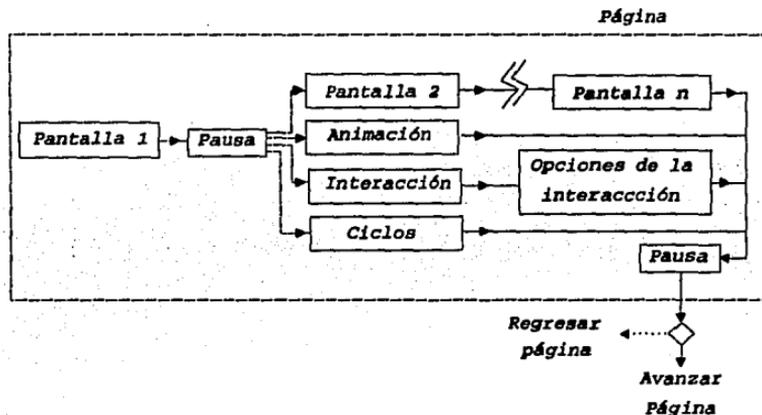


Fig. 5.16. Estructura interna de una página.

Módulo Características básicas del motor de inducción trifásico.- En este módulo se comprende lo relacionado con los principios de funcionamiento del motor de inducción, la generación de un campo magnético giratorio, el concepto de deslizamiento, pérdidas en el motor, eficiencia, circuito equivalente, curva par-velocidad, clases de diseño y finalmente características nominales. La estructura interna de éste, es exactamente la misma que se utilizó para el módulo anterior (ver fig 5.15.).

Módulo Clasificación.- Contiene en forma general la clasificación de los motores eléctricos. Básicamente consiste de una pantalla en donde se muestran los tipos de motores eléctricos comúnmente utilizados en la industria, el usuario tiene la posibilidad de seleccionar cualquiera de ellos. Dentro de cada una de estas opciones, se presenta una fotografía del motor y una breve explicación de su principio de funcionamiento y sus aplicaciones principales (ver figura 5.17.).

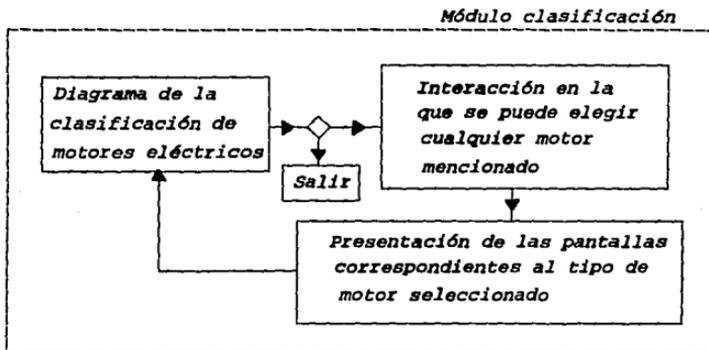


Fig 5.17. Estructura del módulo clasificación.

Módulo Breve reseña histórica y generalidades del motor de inducción.- Este es un módulo prácticamente estático; pues únicamente presenta una serie de imágenes acompañadas con voz y música de fondo, en donde se describe la historia del motor de inducción y se habla a grandes rasgos de sus características de operación.

Módulo Proceso de diseño del motor de inducción.- Aquí se presenta una breve introducción hacia lo que es el proceso de diseño de una máquina eléctrica y se habla a grandes rasgos de los conceptos que se deben tener en mente antes de iniciar un diseño. La estructura general es similar a la del módulo anterior.

5.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN CURSO POR COMPUTADORA

Analizando el impacto de las nuevas tecnologías dentro del campo de la educación, podemos llegar a la conclusión de que la computadora es una de las herramientas que más ayudado a desarrollar nuevas técnicas de enseñanza. Y esto es debido a que al menos dos factores son críticos al considerar su efectividad. Uno de ellos es la naturaleza interactiva que se puede generar; es decir, en un curso por computadora, el estudiante ya no se encuentra en una

situación tan solo como espectador, sino que ahora se convierte en un participante activo (algo así como en el método Socrático, en donde dos o tres estudiantes trabajan estrechamente con el maestro). Si el curso está bien estructurado, la misma computadora puede ir examinando el aprendizaje por medio de exámenes periódicos, o de repeticiones continuas de puntos importantes.

El segundo factor, es la capacidad de individualizar la experiencia del aprendizaje a las necesidades de cada estudiante. Es muy claro, que todas las personas tienen sus propias técnicas de estudio y que cada una de ellas posee sus propias características de aprendizaje. Con la ayuda de un curso por computadora, el estudiante tiene la posibilidad de avanzar de acuerdo a sus características propias, sin tener que depender directamente de un instructor, el cual muchas veces se deja llevar por los estudiantes más avanzados para llevar el ritmo del curso. Cabe aclarar, que con lo anterior no se pretende decir que los instructores ya no serán necesarios, sino simplemente se trata de hacer ver que la computadora es una herramienta, que permite facilitar el proceso de aprendizaje, y alcanzar con esto, niveles de educación elevados, en intervalos de tiempo más cortos.

Otra de las ventajas que se encuentran en un curso de este tipo, es que en algunos casos, gracias a la ayuda de las tecnologías modernas (*Multimedia*), es posible explicar fenómenos que prácticamente son intangibles y por lo mismo resultan ser muy abstractos como para poder ser comprendidos fácilmente; por ejemplo: En el tutorial de motores de inducción, constantemente se mencionan términos tales como ondas de densidad de flujo magnético senoidales en el espacio, o campos magnéticos giratorios. No obstante, este tipo de conceptos resultan en la mayoría de los casos difíciles de imaginar; sin embargo, gracias a las técnicas de animación proporcionadas por la computadora, fue posible dibujar y animar un campo giratorio alrededor de una jaula de ardilla. Este método de visualización, es obviamente más completo que únicamente ver un dibujo en las páginas de algún libro.

Por último se puede mencionar una ventaja adicional de curso de este tipo: la innovación. Es lógico que como este tipo de tecnologías son de reciente aparición, la curiosidad de probar algo nuevo es una característica que se puede aprovechar para captar la atención del estudiante.

Por otra parte, así como existen ventajas en un curso por computadora, también existen desventajas. Una de ellas se observa claramente al comparar un curso de este tipo, con un tradicional libro. El libro presenta ventajas tales como la familiaridad, la portabilidad, y sobre todo su alta disponibilidad; puesto que existen libros con información de casi todas las ramas del

conocimiento humano. Además, en un libro se incluyen grandes cantidades de texto y gráficas, que muchas veces son difíciles de incluir en un tutorial como el desarrollado.

Otra desventaja, consiste en que la elaboración de cualquier tutorial en computadora no es un proceso muy sencillo, y no solamente se requiere de tener conocimientos sobre el tema que se aborde, sino que además es necesario tener un cierto conocimiento sobre las ciencias computacionales y de pedagogía. Sin embargo, ésta desventaja cada vez se hace menos molesta, puesto que las nuevas tecnologías tienden a modernizar enormemente el ambiente de trabajo hombre-máquina, y por lo mismo el uso de nuevos programas es relativamente más sencillo que antes.

La más grande desventaja que se puede citar, es quizás la cantidad de equipo que se requiere para realizar un curso de estas características.

En el anexo del presente trabajo se muestran una serie de pantallas que se encuentran dentro del tutorial desarrollado. Las pantallas no llevan un orden definido, y solamente se incluyen con el fin de que el lector se de una idea de la forma en que los conceptos son presentados dentro del tutorial.

6.- CONCLUSIONES

Durante el desarrollo del presente trabajo, se estudiaron los principios de funcionamiento, aplicaciones, clasificación y conceptos relacionados con el diseño de motores de inducción trifásicos. Por otra parte, también se realizó un estudio acerca de la plataforma computacional conocida como "Multimedia", y finalmente se desarrolló una primera parte de un tutorial por computadora sobre diseño de motores de inducción trifásicos. Las conclusiones derivadas de la elaboración de éste trabajo se presentan a continuación:

La tecnología Multimedia presenta una gran cantidad de ventajas debido a la forma de presentar la información, ya que permite incluir medios tales como voz, música, imágenes, animaciones e incluso vídeo; además, los nuevos ambientes de trabajo hombre-máquina que ofrece, permiten que gente que no posee altos conocimientos acerca de las ciencias computacionales pueda desarrollar trabajos de gran calidad sin mucho esfuerzo.

El uso de la computadora digital en la ingeniería, no solamente puede ser aprovechada como una herramienta matemática; sino que también puede ser utilizada como un instrumento para lograr niveles de aprendizaje más elevados en lapsos de tiempo menores (como en el caso del tutorial), ó gracias a la tecnología multimedia, puede ser factible construir simuladores más sofisticados, que permitan niveles de interacción más altos entre el operador y el proceso.

El estudio de las características de operación y diseño de las máquinas de inducción, implica poseer un cierto grado de conocimientos. El uso de un tutorial como el desarrollado en el presente trabajo, ayudará al ingeniero que inicia en las ramas de diseño a obtener los conocimientos necesarios en el menor tiempo posible, para que rápidamente adquiera la experiencia necesaria para generar diseños de alta competitividad.

Aunque el tutorial se encuentra enfocado en un tema específico dentro del campo de las máquinas eléctricas, la metodología seguida para la realización del mismo puede ser

utilizada para cualquier otro tema que se desee. Por otra parte, se puede decir que aunque la estructura del tutorial tal y como esta realizada no es necesariamente la óptima, si podemos afirmar que al menos da una pauta de la forma en que se debe elaborar, y se deja abierta la opción para que se realicen las modificaciones necesarias para hacerlo mas eficiente.

La forma en que los temas se encuentran expuestos pretende de alguna forma presentar un nuevo enfoque en el estudio de las máquinas eléctricas, tratando de hacer lo mas ameno posible el proceso de aprendizaje.

El uso de un tutorial por computadora ofrece ventajas tales como:

- a) La interactividad en el aprendizaje.- El estudiante ya no actúa solamente como un espectador, sino que ahora puede interactuar con la computadora.
- b) La capacidad de individualizar el proceso de aprendizaje.- Es bien sabido que no todos los estudiantes aprenden al mismo ritmo. Con una tutorial de este tipo, el usuario marca el ritmo de estudio.
- c) La innovación.- Debido al empleo de técnicas novedosas (*Multimedia*), el estudiante se siente motivado para intentar algo nuevo.
- d) El uso de las nuevas técnicas computacionales permite de alguna manera explicar mas claramente fenómenos (por medio de animaciones por ejemplo) que muchas veces son difíciles de imaginar.

La elaboración de una presentación (ó tutorial) utilizando multimedia, generalmente involucra una serie de equipos auxiliares tanto de software como de hardware. Para que una computadora normal pueda manejar adecuadamente este sistema, es necesario que al menos cumpla con las especificaciones MPC.

6.2. TRABAJOS FUTUROS

Este trabajo consiste en la primera parte de un tutorial para diseño de motores de inducción trifásicos desarrollado en el IIE, por lo que se deja abierta su conclusión para que se realice la segunda parte, la cual contendrá el procedimiento de diseño desglosado y explicado detalladamente. Por otra parte, el desarrollo y explotación de esta plataforma computacional aplicada a la ingeniería mecánico-eléctrica no ha tenido un desarrollo muy elevado y se espera que con este trabajo se pueda dar una visión de las posibilidades que esto representa, ya que realmente existe un gran campo de trabajo para generar este tipo de aplicaciones.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

- [1] VEINOTT C.G. "Theory and design of small inductions motors", Mc graw-hill, Book Co. New York, 1959, 532 pp.
- [2] KUHLMAN J.H., "Diseño de aparatos eléctricos", CECSA, Sexta edición, México 1977, 559 pp.
- [3] VEINOTT C.G., "Motores eléctricos de potencia fraccionaria y subfraccionaria", Marcombo, Primera edición, 1978, 532 pp.
- [4] JUAN CORRALES MARTÍN, "Cálculo Industrial de máquinas eléctricas", Marcombo, Primera edición, 1976, España, Tomo I (588 pp) y Tomo II (586 pp).
- [5] OSCAR LEOPOLDO DÍAZ GONZALES, "Criterios de diseño y optimización de motores eléctricos polifásicos de inducción", Tesis profesional, Diciembre 1984, Instituto Politécnico Nacional, 165 pp.
- [6] GEORGE MCPHERSON, "Introducción a las máquinas eléctricas y transformadores", LIMUSA, primera edición, 1987, 548 pp.
- [7] FITZGERALD, KINGSLEY, KUSKO, "Teoría y análisis de las máquinas eléctricas", Editorial Hispano-Europea, segunda edición, 1980, 577 pp.
- [8] STEPHEN CHAPMAN, "Máquinas eléctricas", Mc graw-hill, segunda edición, 1993, 740 pp.
- [9] HARPER GILBERTO "El ABC de las máquinas eléctricas" Tomo II. " Motores de corriente alterna"", LIMUSA, primera edición, 1992, 415 pp.
- [10] WILLIAM H. HAYAT "Teoría electromagnética", Mc graw-hill, Quinta edición, México, 1992, 523 pp.
- [11] TRICKEY, P. H, "Induction motors resistance-ring windht", Trans AIEE, 1936, pag 144.

- [12] ALGER PHILIP L, "Induction machines", Gordon and Breach, science publishers, segunda edición, 1970, 518 pp.
- [13] OSCAR DÍAZ GONZALES, "Determinación de las curvas de inducción utilizadas en motores asíncronos polifásicos", Estudio interno emitido por el Dpto. de Equipos eléctricos, IIE, Junio 1992, 87 pp.
- [14] IRVING L. KOSOW, "Máquinas eléctricas y transformadores", Ed. Reverté, primera edición, España 1980, 727 pp.
- [15] AUSTIN H. BONNETT, "Understanding efficiency in squirrel-cage induction motors", IEEE Transactions on industry applications, Vol 16, No. 4, Jul/Agosto - 1980, pag 476-483.
- [16] VEINOTT C.G., "Performance calculations on induction motors", Transactions AIEE, Vol 51, pag 743-754.
- [17] NOM J-75-1985, "Motores de inducción de corriente alterna tipo jaula de ardilla en potencias de 0.062 a 375 Kw".
- [18] NEMA satandars publications, "Motors and Generators", MG1-1993.
- [19] OSCAR DÍAZ GONZALES Y F. CIPRIAN, "Análisis técnico de la normalización nacional e internacional como información para el diseño de motores de inducción tipo jaula de ardilla", Estudio emitido por el dpto de Equipos eléctricos, IIE, Julio 1988.
- [20] Colección de textos sobre centrales termoelectricas convencionales y nucleares, Vol. 4, "Máquinas asíncronas trifásicas", Ed. ASINEL, Madrid, España 1992, 45 pp.
- [21] THALER W. WILCOX, "Máquinas eléctricas", ed. LIMUSA, tercera edición, México 1984, 675 pp.
- [22] SYED A. NASAR., "Máquinas eléctricas y electromecánicas", Mc graw-hill, primera edición, 1986, 202 pp.

- [23] RON WODASKI, "Multimedia Madness", publicaciones SAMS, segunda edición, EUA 1994, 1100 pp.
- [24] VICTOR H. CHAPALA BARBA, "El camino hacia la realidad virtual", Conferencia en 2º congreso internacional para estudiantes de ingeniería (memoria técnica), 1993, pag 47-51.
- [25] THOMAS B, SHERIDAN AND DAVID ZELTZER, "Virtual reality check", Technology Review, October 1993, pag 21-28.
- [26] MANUEL GANDARA, "Multimedios en la educación ¿promesa o realidad?", Conferencia en 2º congreso internacional para estudiantes de ingeniería (memoria técnica), pag 83-91.
- [27] KRIS JAMSA "La magia de Multimedia", Mc graw-hill, primera edición, México 1993, 390 pp.
- [28] VICTORIA ROSEMBERG "A guide to Multimedia", New Riders Publishing, EUA 1993, 592 pp.
- [29] AUTHORWARE STAR FOR WINDOWS, ver 1.0, Manual del usuario.
- [30] ALDUS PHOTOSTYLER, ver 2.0, Micrisoft windows, Manual del usuario.
- [31] IMAGE Q, ver 2.2, Manual del usuario.
- [32] Gufa *creative* de Multimedia, Sound blaster 16 (SB16), manual del usuario.
- [33] MAURICIO JOSÉ SCHWARZ, "La evolución de multimedia", Revista: Computadoras personales, México julio 1993, Pag 26-30.
- [34] Microsoft windows, ver 3.1., Manual del usuario.

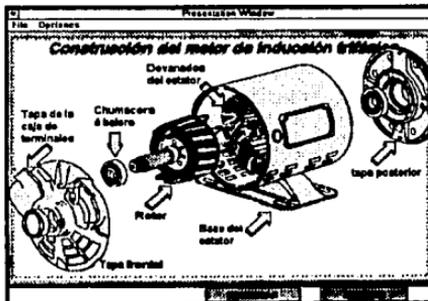
ANEXO

Pantallas del Tutorial



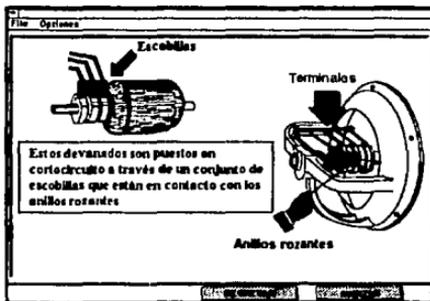
En las siguientes 3 pantallas se muestra la secuencia de despiece de un motor de inducción trifásico con jaula de ardilla.

Dicha secuencia se encuentra dentro del módulo de construcción del motor de inducción.





En esta pantalla se muestra una fotografía de un motor de inducción trifásico con rotor devanado (módulo construcción del motor de inducción).



En esta pantalla se muestra un detalle de los anillos rozantes y las escobillas de un motor trifásico con rotor devanado (módulo construcción del motor de inducción)



En esta pantalla se presentan algunas ventajas de los motores jaula de ardilla con respecto a los de rotor devanado (módulo construcción del motor de inducción).

7 de Opciones

El llamado rotor jaula de ardilla tiene las siguientes ventajas comparadas con el

- a) Tienen un mayor factor de espacio para las bobinas y menores pérdidas en el cobre
- b) Permiten mayor espacio para ventilación y por lo tanto mejores condiciones de enfriamiento
- c) Tienen menor flujo disperso, ofrecen un mejor factor de potencia y proporcionarían mayor capacidad de sobrecarga.

Destapar



REGRESAR AVANZAR

Esta es la misma pantalla anterior, pero después de seleccionar el botón destapar.

Se puede apreciar la parte interna de un motor de inducción trifásico tipo vertical (módulo construcción del motor de inducción)

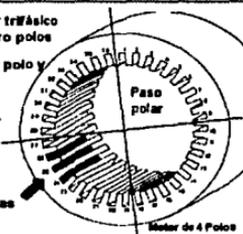
8 de Opciones

Por ejemplo, para un motor trifásico con 36 ranuras, y con cuatro polos

El número de ranuras por polo y por fase sería:

$$N_{pf} = \frac{36 \text{ Ranuras}}{3 \text{ fases} \times 4 \text{ polos}}$$

$N_{pf} = 3 \text{ Ranuras}$



Haga click con el mouse

REGRESAR AVANZAR

Aquí se presenta un ejemplo del cálculo del número de ranuras por polo y por fase en un estator trifásico con cuatro polos (módulo construcción del motor de inducción).

9 de Opciones

Un devanado está caracterizado por la disposición de las caras frontales que determinan la forma de las secciones y el aspecto interior hacia la parte interna del devanado.

Dependiendo del tipo de bobina utilizado, se hacen diferentes tipos de devanados

Devanado imbricado

Devanado con E-éntico

Devanado imbricado

Devanado espiralado

Devanado de corona

Devanado imbricado

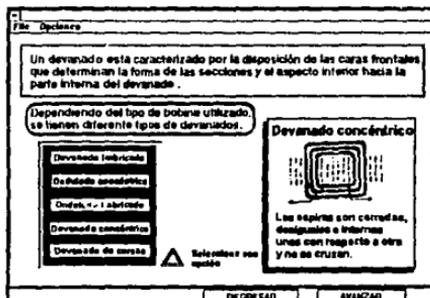


Las espiras son iguales, cerradas y se cruzan

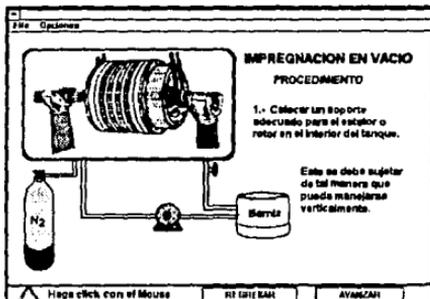
⚠ Recuerde una opción

REGRESAR AVANZAR

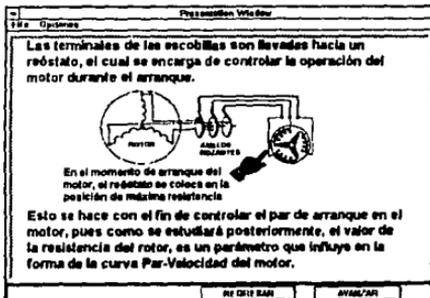
En esta pantalla se permite la opción de seleccionar el tipo de devanado deseado, para observar su forma de construcción (módulo construcción del motor de inducción).



Esta es la misma pantalla anterior, pero después de seleccionar la opción de *devanado concéntrico*.



Esta es la primera de una secuencia de pantallas en donde se explica el procedimiento de barnizado de rotores ó estatores, por medio de impregnación al vacío (módulo construcción del motor de inducción).

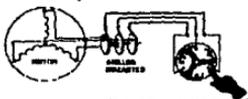


Las siguientes dos pantallas presentan una explicación de la forma en que se controla la corriente y el par de arranque en un motor con rotor devanado (módulo características básica del motor de inducción).

Presentación Windows

File Opciones

Las terminales de las escobillas son llevadas hacia un rotoalato, el cual se encarga de controlar la operación del motor durante el arranque.



Una vez que el motor arranca, la resistencia se disminuye hasta un valor adecuado.

Esto se hace con el fin de controlar el par de arranque en el motor, pues como se estudiará posteriormente, el valor de la resistencia del rotor, es un parámetro que influye en la forma de la curva Par-Velocidad del motor.

RETORNE ATRÁS AVANZAR

Presentación Windows

File Opciones

Los motores con rotor diseñado por el contacto, son más caros y su mantenimiento debe de ser más cuidadoso; este tipo de motor se utiliza en situaciones en las cuales se requiere de un control de velocidad, a otros para de arranque controlados. Actualmente, debido a los grandes avances en el campo de la electrónica de potencia, este tipo de motor está siendo desplazado por los del tipo jaula de ardilla controlados por variadores de velocidad electrónicos.



Variador de velocidad para motores de inducción con potencia de 3 KW, Alimentación trifásica de 380 a 415 Volts, 50/60 HZ.

RETORNE ATRÁS AVANZAR

En esta pantalla se muestra la fotografía de un variador de velocidad para motores de inducción comercial (módulo construcción del motor de inducción).

Presentación Windows

File Opciones

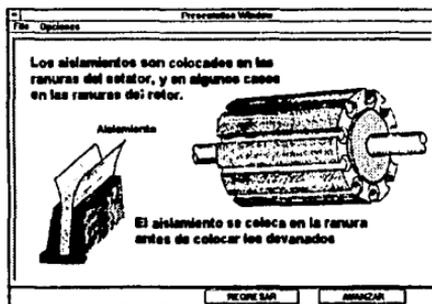
El rotor de un motor de inducción también puede ser construido con dos jaulas de ardilla. Para este caso en particular las ranuras utilizadas son como las que se muestran a continuación.



El uso de dos jaulas de ardilla proporciona características de velocidad en el motor, que no pueden ser igualadas por los motores de una sola jaula. Pero obviamente tiene el inconveniente de ser más costoso.

RETORNE ATRÁS AVANZAR

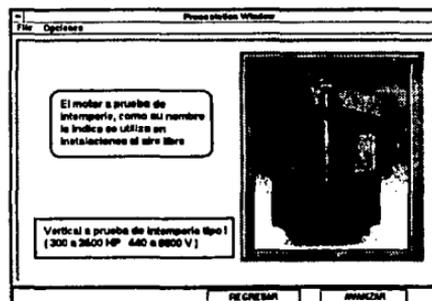
En esta pantalla se muestra la forma de las ranuras en un rotor con doble jaula de ardilla (módulo construcción del motor de inducción).



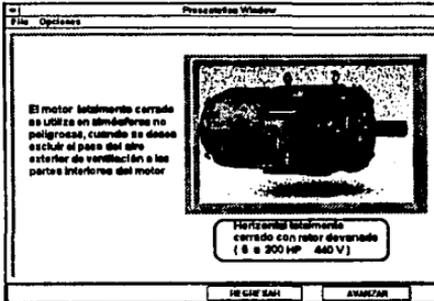
En esta pantalla se ilustra la forma en son colocados los aislamientos en el estator y rotor de una máquina de inducción (módulo construcción del motor de inducción).



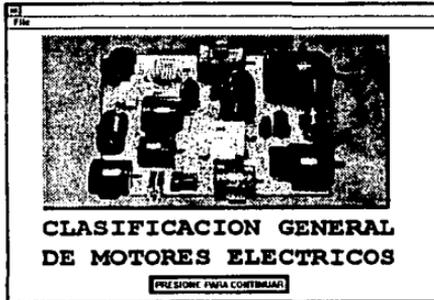
Vista interna de un motor trifásico con jaula de ardilla.



Fotografía de un motor de inducción de gran potencia, tipo vertical (módulo construcción).



Fotografía de un motor de inducción tipo horizontal, totalmente cerrado.



Pantalla inicial del módulo clasificación de motores eléctricos.



Fotografía de un motor con polos sombreados (módulo clasificación de motores eléctricos)

La mayor cantidad de
 ó un motor sencilla se se
 simplicidad un devuelto de
 volante suministrado, su rotor
 es fundido en jaula de
 araña y unas pocas poleas
 especiales, las cuales se
 hacen de plástico, y alrededor
 de la periferia menor de la
 placa polar se arrastra la espira
 de cables cortocircuitada.
 No se utilizan interruptores
 cuadrupolares, dispositivos
 especiales de arranque, ni
 espárragos. No obstante, el
 motor de inducción de polos
 sombreados es inherentemente más simple aún.

PARTES ESENCIALES

Bobinas de sombra
 Devanado del estator
 Rotor
 Placa polar

Partes constructivas de un motor con polos de sombra (módulo clasificación de motores eléctricos)

Aplicaciones

Motor con bobinas de sombra de potencia subfraccionaria, de tipo esqueleto

Este tipo de motor se utiliza en aplicaciones en las que se requiere un motor de potencia igual o inferior a 1/4 HP o bruckso menos de 1/1000 HP. En la categoría subfraccionaria a potencias inferiores a 1/20 de HP es el motor normal de corriente alterna para usos generales de velocidad constante. Se utiliza en ventiladores de todas clases, proyectores, fotocopiadoras, avitualladoras, y máquinas vendedoras. Además son utilizables con engranajes reductores para obtener casi cualquier velocidad.

PRESENCIA PARA CONTINUAR

Aplicaciones de un motor con polos sombreados (módulo clasificación de motores eléctricos)

Motor de corriente directa en derivación

PRESENCIA PARA CONTINUAR

Fotografía de un motor de corriente continua (módulo clasificación de motores eléctricos)

Este tipo de motor se utiliza en situaciones en las cuales se requiere de una velocidad casi constante. Para con la finalidad de eliminar totalmente el valor de la misma



Algunas aplicaciones son :

- Bombas centrifugas
- Freidoras
- Fichas de transmisión
- Moto generadores CC-CA
- Pulidoras
- Secadoras Oculares
- Ventiladores

[Presione para continuar]

Aplicaciones de un motor de corriente continua conectado en derivación (módulo clasificación de motores eléctricos)

Motor Síncrono polifásico

El motor síncrono polifásico se caracteriza por presentar una velocidad de operación prácticamente constante (fija) velocidad de sincronismo) bajo cambios en la carga.

Dicha velocidad es proporcional a la frecuencia del sistema de alimentación

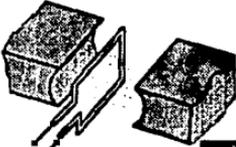
$$N_{sinc} = \frac{120 F_a}{p}$$


En este tipo de máquina el devanado de inducción se alimenta con corriente alterna, mientras que el inductor lo hace con una corriente continua de excitación.

El devanado del inductor está casi siempre fijo en el estator, mientras que el inductor se encuentra en el rotor

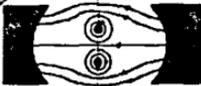
[PRE SÍGUE PARA CONTINUAR]

Características de un motor síncrono polifásico (módulo clasificación de motores eléctricos)



En esta imagen cuando la espira llega a la posición indicada, se observa que el par neto generado es cero y por lo tanto no continúa girando

Posición neutra



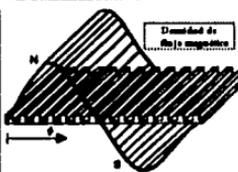
En la posición neutra el par neto es cero

[Presione para continuar]

Explicación del par generado en una espira por la acción del campo magnético (módulo características básicas del motor de inducción)

7/8

Si perforamos de alguna forma distribuida el estator y observamos la onda de densidad de flujo, para un determinado número de barras, observaremos algo similar a lo siguiente para un campo bipolar.



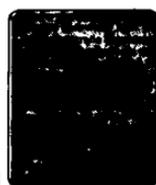
Esta distribución de flujo geométricamente corresponde a una seno y a ella se aproximan mejor las distribuciones de bobinas más sencillas.

En la práctica es muy difícil conseguir una distribución de flujo perfectamente sinusoidal debido a que las bobinas se sitúan dentro de ranuras que provocan distorsiones en el campo, y como consecuencia generando componentes armónicas (esto puede ser diseñado más adelante).

[Proceda para continuar]

Densidad de campo magnético distribuida sobre la superficie del estator en una máquina de inducción (módulo características básicas del motor de inducción).

8/8

Steinmetz describe a fondo la ley de Lenz, la cual hace a posible calcular las pérdidas eléctricas debidas al magnetismo.

[Regresar] [Avanzar]

Pantalla en donde se muestra la fotografía de Steinmetz y se presenta la opción de ver su biografía ó continuar (módulo características básicas del motor de inducción).

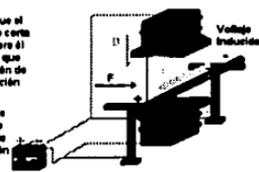
9/9

LIEY DE LENZ

Fuerza contraelectromotriz

Si embargo, puesto que el conductor al moverse entre las líneas de flujo, sobre él se inducirá un voltaje que de acuerdo a la relación de Fleming tiene la dirección mostrada.

Se observe además que el voltaje inducido tiene polaridad contraria al de la fuente de alimentación.



Haga Click con el Mouse

FIN CURSA [AVANZA]

Pantalla en donde se ilustra un ejemplo que demuestra la aplicación de la ley de Lenz (módulo principios fundamentales)

Presentación Windows

Fig. 1

El campo que se genera en un ángulo espacial medida alrededor del eje, es proporcional al coseno del ángulo.

Cuando una corriente senoidal circula por la bobina, se genera un campo magnético cuyo componente fundamental también se denomina. Este campo se caracteriza con el número de polos p, el número de pares de polos $p/2$ y está representado por medio de la siguiente ecuación:

$$B_A = B_m \cos(\omega t) \cos \theta$$

Este campo es una onda senoidal que gira, se expande, contra se expande cuando giramos a nosotros, pero no se mueve.

Fig. 1.1.17 Avanzar

Explicación de la generación de un campo respiratorio en un devanado de fase (módulo características básicas del motor de inducción)

Presentación Windows

Fig. 2

Pérdidas en la máquina de inducción

Únicamente, en una motor de inducción la potencia es esencialmente del estator por inducción electromagnética.

Por lo tanto, la potencia de un motor de inducción es siempre menor del 100% debido a las pérdidas inherentes al ésa, que se muestran en color.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de potencia del motor, se donde se muestran las pérdidas que se presentan en la máquina.

Diagrama de flujo de potencia

Selección una opción [Regresar] Avanzar

Explicación del diagrama de flujo de potencia en la máquina de inducción trifásica.(módulo características básicas del motor de inducción).

Presentación Windows

Fig. 3

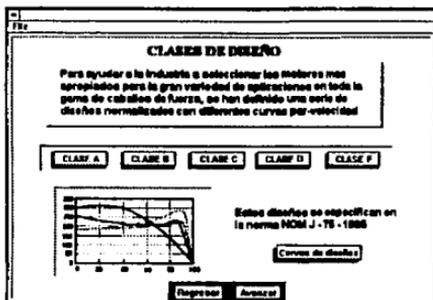
Pérdidas en el núcleo

Las pérdidas en el estator son los otros dos tipos de pérdidas magnéticas, debidas a la histéresis y a las corrientes parásitas de Foucault en el material del núcleo. Estas pérdidas son una función de las propiedades magnéticas y el espesor de las laminaciones del núcleo.

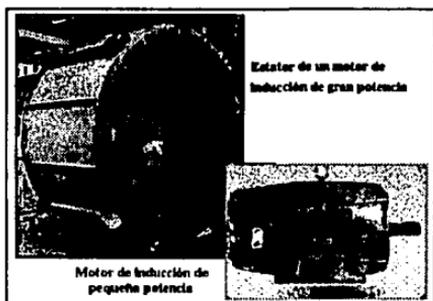
Diagrama de flujo de potencia

Selección una opción [Volver para Empezar]

Misma pantalla anterior, pero seleccionando "pérdidas en el núcleo"



Pantalla en donde se puede seleccionar la explicación de las clases de diseño en los motores trifásicos de inducción (módulo características básicas del motor de inducción)



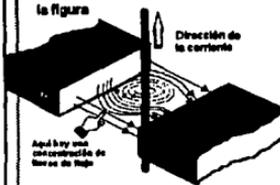
Fotografía de un estator de en motor de inducción de gran potencia, comparándose con un motor de pequeña potencia (módulo generalidades y breve reseña histórica del motor de inducción)



Pantalla inicial de la explicación de la construcción de motores de diseño A (módulo características del motor de inducción).

Relación de fuerza de Biot-Savart

Par entender físicamente el fenómeno, observemos la figura



Apúñay una interacción de fuerza de flujo

3.- Haciendo circular una corriente por el conductor, éste generará su propio campo magnético, el cual interactúa con el campo del imán, produciéndose distribuciones no uniformes de densidad de flujo entre las caras del imán.

Dirección de la corriente

Haga Click con el mouse

Regreso

Avanza

Esta pantalla pertenece a una secuencia de pantallas, en donde se explica el principio de la generación de fuerza en un conductor dentro de un campo magnético (módulo principios fundamentales).