



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

FALLA DE ORIGEN

ELABORACION DE UN TUTORIAL PARA
EL DISEÑO DE MOTORES DE INDUCCION
MONOFASICOS, CON MULTIMEDIA

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presenta :

JOSE ALBERTO ROMERO CIRDA

San Juan de Aragón, Edo. de Méx. 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON
UNIDAD ACADÉMICA

Ing. RAUL BARRON VERA
Jefe de la Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud de fecha 2 marzo del año en curso, por la que se comunica que el alumno JOSE ALBERTO ROMERO CERDA de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "ELABORACION DE UN TUTORIAL PARA EL DISEÑO DE MOTORES DE INDUCCION MONOFASICOS CON MULTIMEDIA", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del examen profesional.

Sin otro particular, le reitero las seguridades de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Mex., 3 de marzo de 1995
EL JEFE DE LA UNIDAD

Lic. ALBERTO IBARRA ROSAS

c c p Asesor de Tesis.
c c p Interesado.

AIR/vr

Rued

Agradecimientos

Agradezco al M.I. H. Octavio de la Torre Vega y al Ingeniero Juan Méndez Moreno, por su invaluable colaboración y asesoría brindados durante el desarrollo de este trabajo.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Francisco Antonio Carvajal Martínez quien con sus atinadas observaciones, contribuyó a enriquecer y mejorar este trabajo.

Al Ingeniero J.J. Ramón Mejía Roldán por su buena disponibilidad y colaboración.

Agradezco al Instituto de Investigaciones Eléctricas por el apoyo y facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

A mi querida escuela, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aragón, por haber contribuido en mi formación profesional.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis queridos padres **MARIA DEL CARMEN CERDA DE ROMERO** y **JESUS TRINIDAD ROMERO PANTOJA**. Quienes gracias a su gran apoyo y esfuerzo les debo todo lo que he logrado, con mucho amor.

A mi querida y única hermana **NINFA DEL CARMEN ROMERO CERDA**, que este trabajo sirva como ejemplo y motivación para que alcances todas tus metas.

Como un homenaje póstumo a mi abuelito **JOSE ROMERO SANCHEZ**.

A mi abuelita paterna **NINFA PANTOJA DE ROMERO**, y a mis abuelitos maternos **MARIA DEL CARMEN GUTIERREZ DE CERDA** y **ALBERTO CERDA MORENO**, por el respaldo y cariño que siempre me han brindado.

***ELABORACION DE UN TUTORIAL PARA EL
DISEÑO DE MOTORES DE INDUCCION
MONOFASICOS, CON MULTIMEDIA.***

JOSE ALBERTO ROMERO CERDA.

Marzo 1995.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1

Introducción.

1.1 OBJETIVO	1
1.2 DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LA TESIS	2

CAPITULO 2

El Sistema Multimedia

2.1. ¿QUE ES MULTIMEDIA?	3
2.2. ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE MULTIMEDIA.	6
2.2.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.	6
2.2.2 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE.	7
2.3. ELEMENTOS OPCIONALES	
2.3.1 DIGITALIZADORES DE IMAGEN (SCANNERS).	8
2.3.2 MONITORES SENSIBLES AL TACTO (TOUCH SCREENS). ...	10
2.4. CD-ROM.	
2.4.1 TIPOS DE CD-ROM.	12
2.5. AUDIO EN LA COMPUTADORA.	
2.5.1 TARJETAS DE AUDIO	16
2.5.2 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA TARJETA DE AUDIO .	17
2.5.3 ARCHIVOS DE AUDIO	18
2.5.4 INSTALACION DE TARJETAS DE AUDIO	18
2.6. IMAGEN EN LA PC	
2.6.1 VIDEO Y ANIMACION EN LA COMPUTADORA	22
2.6.2 TARJETAS DE VIDEO	24
2.6.3 ESTANDARES DE VIDEO	24
2.7. APLICACIONES.	26

CAPITULO 3

Principios Elementales del Motor de Inducción Monofásico

GENERALIDADES	28
3.1 LEYES FUNDAMENTALES	
3.1.1 LEY DE AMPERE	29
3.1.2 POLARIDAD DEL CAMPO MAGNETICO FORMADO POR UN CONDUCTOR. (Regla Del Sacacorchos De Maxwell).	30
3.1.3 FUERZA MAGNETOMOTRIZ (F _{mm})	31
3.1.4 POLARIDAD DE UNA BOBINA	32
3.1.5 LEY DE INDUCCION DE FARADAY	32
3.1.6 RELACION DE FLEMING DE LA MANO DERECHA	33
3.1.7 CUANTIFICACION DEL VOLTAJE INDUCIDO EN UN CONDUCTOR EN MOVIMIENTO DENTRO DE UN CAMPO MAGNETICO	34
3.1.8 LEY DE LENZ	34
3.1.9 FUERZA PRODUCIDA SOBRE UN CONDUCTOR (RELACION DE BIOT-SAVART).	35
3.1.10 RELACION DE FLEMING DE LA MANO IZQUIERDA	36
3.2 PRINCIPIO DE OPERACION DEL MOTOR DE INDUCCION	
3.2.1. PRODUCCION DE UN CAMPO MAGNETICO GIRATORIO EN UN ESTATOR BIFASICO	38
VELOCIDAD SINCRONA	40
DESLIZAMIENTO	40
FRECUENCIA ELECTRICA EN EL ROTOR	41
3.3 MOTORES MONOFASICOS DE INDUCCION	
3.3.1 PAR EQUILIBRADO DEL MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO EN REPOSO	42
3.3.2 PRODUCCION DE PAR EN UN MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO.	43
3.3.2.1 TEORIA DEL DOBLE CAMPO GIRATORIO	43
3.3.2.2 TEORIA DE LOS CAMPOS CRUZADOS	45

3.4 TIPOS DE MOTORES DE INDUCCION MONOFASICOS	48
3.4.1 MOTOR DE INDUCCION DE FASE PARTIDA	48
3.4.1.1 PRINCIPIOS DE ARRANQUE EN LOS MOTORES DE FASE PARTIDA	49
3.4.1.2 CARACTERISTICAS Y APLICACIONES DE LOS MOTORES DE FASE PARTIDA	49
3.4.2 MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE	51
3.4.2.1 REVERSIBILIDAD DEL MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE	52
3.4.2.2 CARACTERISTICAS DE PAR EN EL MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE	53
3.4.2.3 APLICACIONES DEL MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE	54
3.4.3 MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE	54
3.4.3.1 PRINCIPIOS DE ARRANQUE DEL MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE	55
3.4.3.2 CARACTERISTICAS DEL MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE	55
3.4.3.3 APLICACIONES DEL MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE	56
3.4.4 MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES	56
3.4.4.1 PRINCIPIO DE ARRANQUE DEL MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES	57
3.4.4.2 CARACTERISTICAS DE PAR DEL MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES.	57
3.4.4.3 APLICACIONES DEL MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES	58
3.4.5 MOTOR DE INDUCCION DE POLOS SOMBREADOS	
3.4.5.1 PARTES ESENCIALES DEL MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.	59
3.4.5.2 PRINCIPIOS DE OPERACION DEL MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.	59
3.4.5.3 APLICACIONES DEL MOTOR DE INDUCCION DE POLOS SOMBREADOS	61

CAPITULO 4

Cálculos de Funcionamiento del Motor de Inducción Monofásico.

4.1 VISION CUANTITATIVA DE LA TEORIA DEL DOBLE CAMPO GIRATORIO	62
4.2 CARACTERISTICA PAR-VELOCIDAD DEL MOTOR MONOFASICO DE INDUCCION	64
4.3 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO FUNCIONANDO CON UN SOLO DEVANADO	66
4.3.1 CONDICION DE ROTOR PARADO	66
4.3.2 CONDICION DE ROTOR EN MOVIMIENTO	67
4.3.3 PAR Y POTENCIA PRODUCIDOS	70
4.4 CALCULOS DE FUNCIONAMIENTO CON DEVANADOS COMBINADOS PARA EL MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO	73
4.4.1 MOTOR CON DEVANADOS EN CUADRATURA EN EL ESPACIO.	73
4.4.2 VOLTAJES INDUCIDOS POR LOS CAMPOS DIRECTO E INVERSO.	74
4.4.3 PAR Y POTENCIA PRODUCIDOS CON DEVANADOS COMBINADOS.	77
4.4.4 SOLUCION DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR MONOFASICO DE INDUCCION CON DEVANADOS COMBINADOS.	80

CAPITULO 5

Metodología General de Diseño de los Motores de Inducción Monofásicos

5.1 PROCESO DE DISEÑO DEL MOTOR DE INDUCCION	83
5.2 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO	86
5.2.1 METODOLOGIA GENERAL DE DISEÑO.	87
5.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL ESTATOR.	87
5.2.2.1 EL NUCLEO DEL ESTATOR	87

5.2.2.2	CARCASA O ARMAZON.	88
5.2.2.3	DIAMETRO EXTERNO DE LA LAMINACION DEL ESTATOR	89
5.2.2.4	ECUACION DE SALIDA Y CANTIDAD DE MATERIAL MAGNETICO REQUERIDO.	89
5.2.2.5	DIAMETRO INTERNO DEL ESTATOR.	91
5.2.2.6	LONGITUD DEL ENTREHIERRO.	92
5.2.2.7	DETERMINACION DEL NUMERO DE RANURAS DEL ESTATOR.	93
5.2.2.8	TIPOS DE RANURAS DEL ESTATOR.	94
5.2.2.9	LAMINACIONES CON CONFIGURACIONES ESPECIALES	95
5.2.2.10	DISEÑO DE LAS RANURAS DEL ESTATOR.	97
5.2.2.11	YUGO DEL ESTATOR.	97
5.2.3	DIMENSIONAMIENTO DEL ROTOR.	97
5.2.3.1	DIAMETRO EXTERIOR DEL ROTOR.	98
5.2.3.2	NUMERO DE RANURAS DEL ROTOR.	98
5.2.3.3	INCLINACION DE LAS RANURAS DEL ROTOR.	100
5.2.3.4	TIPOS DE RANURAS UTILIZADAS EN EL ROTOR. ...	101
5.2.4	DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRICO (DISEÑO DE DEVANADOS)	102
5.2.4.1	DEVANADOS DEL ESTATOR DEL MOTOR MONOFASICO DE INDUCCION.	102
5.2.4.2	FACTOR DE PASO Y FACTOR DE DISTRIBUCIÓN EN DEVANADOS CONCENTRICOS	103
5.2.4.3	NUMERO DE CONDUCTORES EN SERIE.	105
5.2.4.4	DISEÑO DE LOS DEVANADOS PRINCIPAL Y AUXILIAR.	106
5.2.4.5	CIRCUITO ELECTRICO DEL ROTOR.	107
5.2.4.6	YUGO DEL ROTOR	108
5.2.4.7	CORRIENTE DE MAGNETIZACION	108
5.2.5	DISEÑO DEL CIRCUITO MAGNETICO.	108
5.2.5.1	PARTES DEL CIRCUITO MAGNETICO DEL MOTOR DE INDUCCION.	108
5.2.5.2	CALCULO DEL CIRCUITO MAGNETICO.	109
5.2.5.3	AMPER-VUELTAS PARA EL ENTREHIERRO.	110
5.2.5.4	LONGITUD EFECTIVA DEL ENTREHIERRO (g.). ...	111
5.2.5.5	AMPER-VUELTAS TOTALES POR POLO	112

5.2.6 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS FINALES	114
5.2.6.1 REACTANCIA DE DISPERSION.	115
5.2.6.2 COMPONENTES DE LA REACTANCIA TOTAL DE DISPERSION	115
5.2.6.3 RESISTENCIAS PRIMARIA Y SECUNDARIA.	118
5.2.6.4 PERDIDAS	119
5.2.6.5 RESOLUCION DEL CIRCUITO EQUIVALENTE	120
5.2.6.6 ELEVACION DE TEMPERATURA	120
5.2.6.7 FACTORES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA	121

CAPITULO 6

Desarrollo y Estructura del Tutorial

6.1 DESARROLLO DEL TUTORIAL.	122
6.2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA CREACION DEL TUTORIAL	122
6.2.1 HARDWARE UTILIZADO	122
COMPUTADORA	123
CD-ROM Y TARJETA DE SONIDO	123
SCANNER	123
6.2.2 SOFTWARE UTILIZADO	124
LOS TEXTOS DEL TUTORIAL	124
DIGITALIZACION DE LAS IMAGENES	125
EDICION DE LAS IMAGENES	126
CAPTURA DE LAS PANTALLAS	128
LA CAPTURA Y EDICION DE AUDIO	129
LAS ANIMACIONES DEL TUTORIAL	131
EL EDITOR DE PRESENTACIONES UTILIZADO	131
LA UNION DE LOS MODULOS	133
6.3 ESTRUCTURA DEL TUTORIAL	135
Módulo <i>Clasificación de Motores Eléctricos</i>	136
Módulo <i>Leyes Electromagnéticas Fundamentales</i>	138
Módulo <i>Tipos de motores de inducción monofásicos</i>	139
Módulo <i>Construcción del Motor de Inducción Monofásico</i>	140
Módulo <i>Principios de Funcionamiento del Motor de Inducción Monofásico</i>	141

CAPITULO 7
Conclusiones y Recomendaciones

7.1 CONCLUSIONES	144
7.2 RECOMENDACIONES	145

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA	147
---------------------------	-----

CAPITULO 1

Introducción.

En la actualidad, el motor eléctrico de corriente alterna más ampliamente utilizado tanto en el sector industrial como en el residencial, es el *motor de Inducción con rotor de jaula de ardilla*, ya que tiene una gran variedad de aplicaciones y además es de los motores de menor costo. El uso de éste motor se ha incrementado a través del tiempo así como sus aplicaciones. Se pueden encontrar motores de este tipo con capacidades que abarcan desde una pequeña fracción hasta miles de caballos de potencia. La competencia entre los fabricantes de este motor ha traído consigo que se optimicen los diseños buscando mejorar las características de operación y que se reduzcan los costos.

1.1 OBJETIVO.-

El objetivo principal de éste trabajo de tesis es elaborar un curso tutorial por computadora aplicable al aprendizaje del diseño de motores de inducción monofásicos, utilizando el Sistema Multimedia.

Valiéndonos de los recursos que actualmente nos ofrece la tecnología "Multimedia": Textos, Gráficos, Animación, Audio y Video; se pretende que el curso tutorial pueda establecer una comunicación más natural, interesante y amigable entre el aprendiz y la computadora, simulando situaciones que puedan ayudar a incrementar la comprensión y retención de la información al poder ser asimiladas por más de uno de nuestros sentidos, acelerando así el proceso de aprendizaje.

1.2 DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LA TESIS

El presente trabajo consta de 7 capítulos. El *capítulo 1* es ésta introducción misma.

En el *capítulo 2* se da una descripción general del Sistema Multimedia presentando los conceptos básicos de los elementos y partes principales que lo constituyen.

El *capítulo 3* presenta las bases y principios fundamentales que son comunes a las máquinas eléctricas. Así mismo, se da una descripción cualitativa de los distintos tipos de motores de inducción monofásicos. No se han incluido tipos de motores de características especiales, pues su aplicación está reducida a casos específicos. Así, por ejemplo, motores como los monofásicos con rotor devanado o con colector no son objeto de análisis a lo largo del presente trabajo. Consecuentemente, los motores de inducción de fase partida en jaula de ardilla son los más ampliamente analizados.

En el *capítulo 4* se examina cuantitativamente el circuito equivalente del motor de inducción monofásico desde el punto de vista de la teoría del doble campo giratorio, limitándose primeramente al análisis cuando funciona con solo su devanado principal y seguidamente del análisis con sus dos devanados, el principal y el auxiliar combinados.

El *capítulo 5* explica el procedimiento general utilizado para diseñar un motor monofásico de inducción, tratándose únicamente lo referente al diseño electromagnético del mismo.

En el *capítulo 6* se presenta la estructura de cada uno de los módulos que conforman el tutorial, incluyéndose también, la descripción del equipo y elementos involucrados en el desarrollo del mismo.

Finalmente en el *capítulo 7* se establecen las conclusiones de éste trabajo y las recomendaciones para trabajos futuros.

Cabe mencionar que este trabajo es la primera parte de un tutorial de diseño de motores de inducción monofásicos que se desarrolla en el IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas), por lo que este trabajo de tesis solamente cubre una parte del proceso total de diseño, enfocándose principalmente a las características y principios de funcionamiento del motor.

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 encontraremos 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 (video). A través de la historia tanto el almacenamiento, como la entrega "media" se han superado. Al principio vino 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 las computadoras.

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 se podría definir a la palabra "*Multimedia*" como una combinación de textos, gráficas, sonido, video estático o video en movimiento en un solo medio de almacenamiento. Las representaciones visuales son multimedia puesto que se auxilian de varios medios para transmitir mensajes como música, voz, dibujos y fotografías, y últimamente del cine, video, luces computarizadas y animación de rayo láser.

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)".

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 y 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, ya que determina lo que la persona debe ver y escuchar, y cuando debe verlo y escucharlo. Por lo tanto, la persona no tiene la habilidad para buscar y descubrir información a su propio ritmo y en la forma que lo desea, es decir, la persona es tan solo un observador.

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 aparecen el audio, el video, el texto, o alguna combinación de todos ellos. Mientras el usuario ve la información y descubre algún punto de interés, puede hacer preguntas y hacer selecciones al 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 sitúa, digamos, en la selección de México, con una serie de imágenes, letreros, música y voz. En México puede elegir entre diferentes destinos como ciudades o playas, y de esta forma controlar la información que el quiere recibir.

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

2.2. ELEMENTOS CONSTITUYENTES DE MULTIMEDIA.

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

Así, por ejemplo, si se quiere tener una presentación con una calidad de sonido muy elevada, será necesario que la computadora cuente con una tarjeta especial de sonido para este fin; y lo mismo sucedería si se quiere tener una 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 noventa. La especificación MPC indica los requerimientos mínimos necesarios de equipo de computación para que una PC pueda ser llamada computadora Multimedia estándar. Las especificaciones mínimas de la computadora MPC se mencionan a continuación:

2.2.1 REQUERIMIENTOS DE HARDWARE.

- Una PC con microprocesador 80386SX ó superior.
- 2 MB 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 Kb 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^[1]
- 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.

2.2.2 REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE.

- Microsoft Windows 3.1, ó posterior.
- MS-DOS o PC-DOS versión 3.1, ó posterior.
- MS-DOS CD-ROM con extensiones (MSCDEX) ver 2.2 ó posterior.

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

^[1] (Aunque las especificaciones incluyen un puerto joystick; no es completamente necesario para la integración de presentaciones Multimedia).

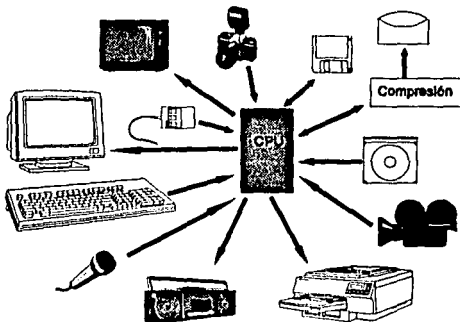


Fig.(2.1) El ambiente Multimedia.

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.

Ambos Scanners, 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 scanners de mano, digitalizan las imágenes en blanco y negro, no obstante, 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 captadas (ya sea retocándolas o cambiando su forma). Después de digitalizar la imagen, se puede utilizar el software de digitalización para archivar o imprimir la imagen.

Como se mencionó, el digitalizador trabaja de forma muy similar a una fotocopiadora: refleja luz de una imagen, y los diferentes patrones de la imagen reflejan la luz en forma diferente, mismos que detecta el scanner utilizando celdas fotosensibles. Al determinar cómo cada celda es activada, el digitalizador produce una imagen que se transfiere al cargar el software de digitalización que se tenga en la computadora.

Existe además un software denominado **OCR** (Optical Character Recognition), el cual valiéndose de un scanner, permite capturar páginas completas de un documento escrito, y generar archivos con extensiones que son fácilmente reconocidas por los procesadores de texto comerciales. La mayoría de los paquetes que existen en el mercado reproducen textos escritos a máquina o textos impresos que aparecen en los libros, o 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 podrían 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 ayuda a la captura y almacenamiento de imágenes es *La Cámara Electrónica*, la cual toma fotografías como una cámara normal, con una excepción: almacena la fotografía como imágenes electrónicas. Utilizando el software de la cámara, se pueden cargar las imágenes en la computadora para imprimir las y 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 quiere hacer interactuar al individuo con presentaciones por computadora, así tengan 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^[2].

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.

^[2] 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.

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 como lo hace 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 de audio 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 como el "Media Player", que nos permiten escuchar música de un compact disc convencional en la computadora).

Como su nombre lo indica, el CD-ROM es un dispositivo de sólo lectura, que nos permite escuchar y observar, lo que en él se encuentra grabado, sin poderlo 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 maquilan 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: externo o interno, la única diferencia radica en que el interno se puede colocar dentro del cajón del CPU. Además una unidad de CD-ROM por lo general está provista con un puerto para audífonos.

Una característica importante de un equipo de 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 puede ser al menos 150 Kb por segundo.

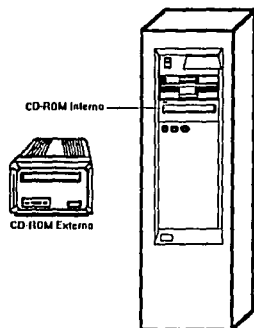


Fig.(2.2) Tipos de unidades de CD-ROM.

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^[1] (driver) para que la computadora lo pueda reconocer y manejarlo adecuadamente.

2.4.1 TIPOS DE CD-ROM.

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, y fueron definidas por medio de colores para cada disco.

[1] Un controlador es un programa de software especial, que se encarga de manejar las funciones de algún dispositivo externo, que se encuentra conectado al CPU.

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

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

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

Libro Verde.- Es el estándar para el *disco compacto interactivo ó CD-I* el cuál 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.

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 de una sola escritura). Una vez elaborado el disco maestro que contiene las dos partes, puede ser leído en cualquier unidad de CD-ROM.

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 mencionan las tarjetas de sonido y algunos detalles técnicos.

El sonido se puede definir 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.

de audio, y la calidad de sonido que se obtiene al emplear dicha frecuencia:

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 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 ocupa al archivar una señal de este tipo, nos damos cuenta de que un minuto de audio puede llenar un disquete completo y una hora de sonido de alta calidad llena un disco duro de 300 MB. La tabla siguiente contiene la cantidad de espacio en disco ocupado por minuto en función de diferentes razones de muestreo y tamaños de muestra, en modo monofónico^[4].

Frecuencia de muestreo	Tamaño de la muestra	Bytes consumidos por minuto
11.025 KHz	8 bits	0.66 MB
22.05 KHz		1.32 MB
44.1 KHz		2.64 MB
11.025 KHz	16 bits	1.32 MB
22.05 KHz		2.64 MB
44.1 KHz		5.29 MB

Tabla (2.2) Bytes consumidos para diferentes frecuencias de muestreo.

^[4] Los Bytes consumidos por minuto, en modo "estereofónico", son el doble de los consumidos en modo "monofónico"

Debido a la enorme cantidad de espacio que ocupan los archivos de audio, un disco compacto es un dispositivo de almacenamiento obligatorio (como se especifica en la MPC).

Quando se pretende realizar una presentación Multimedia es necesario decidir entre una alta calidad de sonido, una gran capacidad de memoria, o 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.

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 tener una tarjeta de audio para poder manejar presentaciones Multimedia.

Quando se está manejando algún programa de software para generar sonido en la PC, el CPU detiene sus funciones para poder inspeccionar y generar los sonidos. El uso de una tarjeta de audio, permite liberar al CPU de esta tarea, y además le da la posibilidad de generar sonidos de mucha más alta calidad.

Las tarjetas de audio 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. (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 interface 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, y que luego son cuantificados en valores binarios.

MIDI.- MIDI son las siglas de "*Musical Instrument Digital Interface*" (Interface 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 (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.).

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 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.

Además de lo anterior, una tarjeta de audio por lo general contiene puertos de entrada para estéreos y micrófonos. También contiene puertos de salida (estéreo o monoral) para poder conectar 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 .WAV). Los cuales contienen información de voz, música, o 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 más 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 INSTALACION 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, estos dispositivos interrumpen periódicamente a la CPU y le piden 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 instala una tarjeta de sonido se debe 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 tabla (2.3) contiene la configuración más común de las IRQ para computadoras con microprocesador 286 y superiores.

DMA (Direct Memory Access)- Para enviar grandes cantidades de datos a los dispositivos de alta velocidad, la computadora 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 la memoria (DMA).

Debido a que varios dispositivos requieren transferir datos al mismo tiempo, la computadora proporciona varios caminos para hacerlo (llamados canales DMA), los cuales son utilizados como vías de alta velocidad para transferir datos hacia, o desde un dispositivo.

Al igual que en las líneas IRQ, también se debe 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.

En la tabla (2.4) se muestran las asignaciones comunes que se les da a los canales DMA, en computadoras con microprocesadores 286 o superiores.

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

Tabla (2.3) 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	
6	Disponible para transferencias de 16 bits
7	Disponible para transferencias de 16 bits
	Disponible para transferencias de 16 bits

Tabla (2.4) 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 de elementos de imagen llamados *pixeles*. El número de pixeles en la pantalla define la resolución. Es decir entre mas pixeles tenga la pantalla habrá una mejor calidad en las imágenes presentadas.

Las resoluciones para algunos monitores son:

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

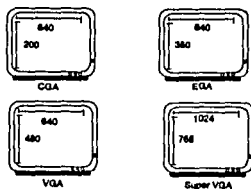


Fig (2.4) Resolución en monitores de computadoras.

En un monitor a color cada pixel 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 pixeles, es decir, debe 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.

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 100Kb de almacenamiento dependiendo de la efectividad del algoritmo de compresión. Una imagen a color tomará lógicamente mucha mas cantidad de memoria.



Fig (2.5) Transferencia de datos hacia un monitor

Al hablar sobre los tipos de archivos de imágenes, se puede decir que existen básicamente 2 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 trabaja con imágenes que requieren cambiar de tamaño constantemente (pueden tener extensiones CGM, WPG, DXF, GED, etc.).

2.6.1 VIDEO Y ANIMACION 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.

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

Cast Animation.- Es el proceso de diseñar todos los objetos en movimiento en forma separada. En este caso se asignan los 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.

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

Técnica de Software.- 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.

Técnica de Túnel Analógica.- 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.

Chips de Compresión.- Esta técnica utiliza los chips de compresión 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).

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, o únicamente reproducirlas en la computadora. En el mercado existen dos clasificaciones de tarjeta de video, éstas son:

Tarjetas de captura de marcos simples (Single-Frame Capture).

Este tipo de tarjetas permiten grabar solamente un cuadro de algún dispositivo de entrada (como un video disco o una videocasetera) 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).

Tarjetas de tiempo real (Real time)

Pueden capturar imágenes con movimiento completo a razón de 15 y 30 cuadros por segundo, usándose para ello, 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 de la ventana de reproducción, reducir el número de cuadros por segundo, o utilizar técnicas de compresión de archivos. La compresión de archivos puede ser realizada de dos diferentes formas: con software únicamente o 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 algunos de ellos:

NTSC (National Television Standar Committe).

Es un estándar establecido para las señales de video en Norte América. Todas las señales de video en U.S.A., 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 permite el uso de video escalable^[1]. 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 en su productor de video para windows, para reproducir únicamente software de video en movimiento completo. (Esta tecnología no requiere utilización de software especial para reproducir imágenes).

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. Este 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*).

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)).

^[1] El término escalable se refiere a la facilidad de cambiar el tamaño de una cierta imagen.

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, y se considera, por la magnitud de sus impactos económicos y sociales, comparable con la revolución industrial.

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 se desee.

Una aplicación del sistema, es el conocido "*Hipertexto Interactivo*". El hipertexto interactivo es 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, existen algunas universidades y centros de investigación, en donde la búsqueda bibliográfica se localiza por medio de éste 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 más amigable la pantalla de monitoreo de algún proceso en específico, de tal forma que sea más 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 podrían seguirse nombrando innumerables aplicaciones de ésta tecnología, de las cuales, algunas ya son conocidas, mientras que otras todavía les falta explotación. 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. La implantación de Multimedia en una red es algo que abrirá totalmente las puertas de la nueva era de la comunicación.

El principal problema para implantar Multimedia en una red, es la gran cantidad de información que se requiere para manejar adecuadamente todos los 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.

Con base en 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 más efectivo para presentar información.

CAPÍTULO 3

Principios Elementales Del Motor De Inducción Monofásico

GENERALIDADES

El uso tan enormemente extendido del motor de inducción se debe principalmente a la sencillez de su construcción, robustez y seguridad de funcionamiento, y también a que tienen como característica una velocidad constante, es decir, su velocidad es substancialmente independiente de la carga dentro de los límites normales de trabajo.

Existen numerosas dependencias, tanto industriales como residenciales en las que la compañía de distribución de energía eléctrica ha instalado sólo una acometida de C.A. *monofásica*. Pero aunque no fuera así, en general, en todas las dependencias se necesitan pequeños motores que funcionan mediante alimentación monofásica para accionar diversos aparatos tales como sierras, molinos, aspiradoras, acondicionadores de aire, etc. En general, la denominación "motor pequeño" se aplica a motores de potencia inferior a un caballo, o sea, un motor de potencia fraccional* y la mayoría de los motores monofásicos son motores de potencia fraccional.

Sin embargo, también se fabrican motores monofásicos de potencias enteras normalizados: 1.5, 2, 3, 5, 7.5 y 10 HP, tanto para acometidas de 115 V como de 220 V.

* Un motor de potencia fraccional se define por la Norma Oficial Mexicana (NOM-J-75) como "Un motor cuya potencia es menor de 1.0 kW a carga plena, pero mayor de 0,0373 kW (1/20 Hp).

3.1 LEYES FUNDAMENTALES

El funcionamiento de todas las máquinas eléctricas está sujeto a las mismas leyes fundamentales.

Para entender el comportamiento de las máquinas eléctricas desde el punto de vista de la conversión de la energía electromecánica es suficiente con la comprensión de cuatro leyes. Estas leyes son:

- a) Ley del circuito del campo magnético (Ley de Ampere).
- b) Ley de inducción de Faraday.
- c) Ley de Lenz.
- d) Relación de la fuerza producida sobre un conductor en un campo magnético. (Ecuación de Biot-Savart).

3.1.1 LEY DE AMPERE

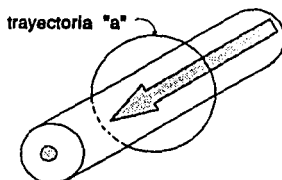
Es la ley básica que gobierna la producción de un campo magnético, debido a una corriente, y se define como:

$$\oint H \cdot dl = I_{enc} \quad (3.1)$$

Esta ecuación establece que la integral de línea de $H \cdot dl$ alrededor de cualquier trayectoria cerrada, es exactamente igual a la corriente constante (I_{enc}) encerrada por dicha trayectoria.

Consideremos la trayectoria circular a de la figura (3.1), por razones de simetría, la magnitud de H es la misma en cualquier punto de la trayectoria circular que está centrada con el conductor y que se encuentra perpendicular a este mismo.

Al evaluar el producto $H \cdot dl$ y sumar todos estos puntos a lo largo de la trayectoria circular con centro en el alambre (lo que equivale a considerar la integral de línea $\oint H \cdot dl$), se obtiene como resultado una respuesta igual a I_{enc} .



Conductor con corriente.

Fig (3.1) Trayectoria circular cerrada alrededor de un conductor.

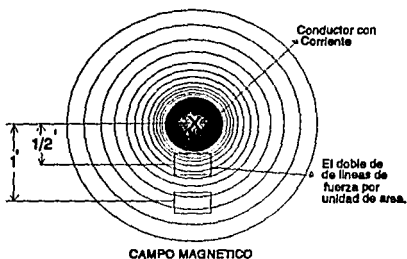


Fig.(3.2) Líneas de flujo alrededor de un conductor que muestran la intensidad de campo magnético.

Puede decirse que la intensidad del campo magnético H es una medida del esfuerzo que hace una corriente para crear un campo magnético, fig (3.2). Cuanto más corriente pase por un conductor, más intenso será el campo magnético, el cual, a su vez, es más intenso cerca del conductor (más líneas de fuerza por unidad de área) y más débil al aumentar la distancia respecto del mismo.

3.1.2 POLARIDAD DEL CAMPO MAGNETICO FORMADO POR UN CONDUCTOR. (Regla Del Sacacorchos De Maxwell).

La regla del sacacorchos de Maxwell es un medio fácil para determinar la relación entre el flujo de corriente en un conductor y la dirección de las líneas de fuerza magnética que se forman alrededor de él.

En la fig (3.3), se observa que si se toma con la mano derecha el conductor portador de la corriente y si el dedo pulgar apunta en la dirección de la corriente, los otros dedos estarán apuntando en la dirección de las líneas de fuerza alrededor del conductor.

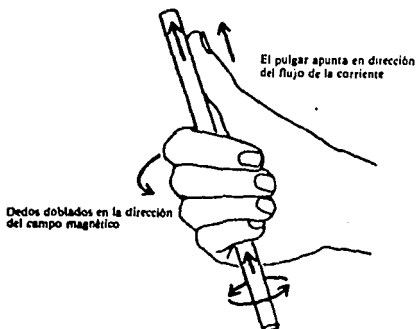


Fig (3.3) Regla de la mano derecha o del sacacorchos de Maxwell.

3.1.3 FUERZA MAGNETOMOTRIZ (F_{mm})

La Fuerza Magnetomotriz (F_{mm}) es la fuerza de magnetización que se origina por el paso de una corriente a través de un conductor. La F_{mm} depende de la corriente que pase por una bobina y el número de espiras en la bobina. Por lo tanto la F_{mm} es igual al producto de la corriente que circula en el conductor por el número de vueltas de la bobina. La unidad de la F_{mm} es el [Amp-Vuelta].

La magnitud de la F_{mm} determina el número de líneas de flujo que existen en el campo magnético o la intensidad de ese campo. Al aumentar la F_{mm} , también aumenta el número de líneas de flujo.

3.1.4 POLARIDAD DE UNA BOBINA

Si a una bobina se le toma con la mano derecha y los dedos se doblan en la dirección en la que circula la corriente en la bobina, el pulgar apuntará al polo norte de ésta, ver la figura siguiente.

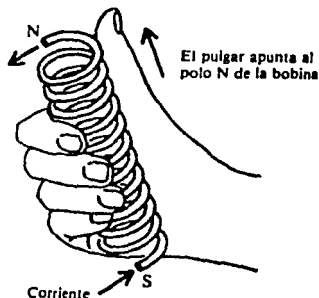


Fig (3.4) Regla de la mano derecha para encontrar el polo norte de un electroimán o de una bobina.

3.1.5 LEY DE INDUCCIÓN DE FARADAY

La ley de Faraday establece que si un flujo magnético pasa a través de una espira de una bobina formada por un elemento conductor, en ella se induce un voltaje que es directamente proporcional a la razón de variación del flujo magnético con respecto al tiempo.

Si una bobina tiene N espiras y si el mismo flujo pasa a través de todas ellas, entonces el voltaje inducido en la bobina completa está dado por:

$$e_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.2)$$

donde:

e_{ind} = Voltaje inducido en
la bobina.

N = Número de espiras de
la bobina.

Φ = Flujo magnético que
pasa a través de la
bobina.

3.1.6 RELACION DE FLEMING DE LA MANO DERECHA

Esta regla determina la relación que existe entre un conductor que se mueve dentro de un campo magnético y la polaridad del voltaje inducido (F_{em}), que se induce en el conductor mismo; considerando que el campo magnético se encuentra en un espacio estacionario y que el conductor se mueve en forma perpendicular a través del flujo del mismo.



Para esta regla, la mano derecha se extiende con el dedo pulgar y el dedo índice formando un ángulo recto; el dedo medio también se extiende, formando, a su vez, un ángulo recto con los otros dos, figura (3.5).

Fig (3.5) Relación de Fleming de la mano derecha para conocer la polaridad del voltaje inducido en un conductor.

Con este arreglo el dedo índice representa el sentido del campo magnético de Norte a Sur, el dedo pulgar indica el movimiento del conductor y el dedo medio indica la polaridad del voltaje inducido apuntando hacia la dirección positiva. Si el conductor se encuentra en corto circuito, entonces el dedo medio indicará la dirección del flujo convencional de la corriente inducida.

3.1.7 CUANTIFICACION DEL VOLTAJE INDUCIDO EN UN CONDUCTOR EN MOVIMIENTO DENTRO DE UN CAMPO MAGNETICO

Debido a las relaciones de ortogonalidad que existen entre las componentes antes mencionadas, es posible utilizar el producto vectorial para cuantificar la magnitud del voltaje inducido en un conductor en movimiento dentro de un campo magnético.

El voltaje inducido en el conductor esta dado por la ecuación:

$$e_{Ind} = (\vec{V} \times \vec{B}) \cdot \vec{l} \quad (3.3)$$

donde: V = Velocidad del conductor relativa con respecto al campo magnético.

B = Densidad de flujo magnético.

l = Longitud del conductor dentro del campo magnético.

V , B , y l son cantidades vectoriales.

3.1.8 LEY DE LENZ

Esta ley establece que: "En todos los casos de inducción electromagnética, el voltaje inducido puede causar que circule una corriente en circuito cerrado, de manera tal, que la dirección del campo magnético producido por la corriente inducida se opondrá a la variación del flujo principal". Es debido a esta ley que aparece el signo negativo en la ecuación de la ley de Faraday.

3.1.9 FUERZA PRODUCIDA SOBRE UN CONDUCTOR (RELACION DE BIOT-SAVART).

Esta relación cuantifica la fuerza que se produce sobre un conductor que transporta corriente y que se encuentra dentro de un campo magnético.

La fuerza producida sobre un conductor recto dentro de un campo magnético está dada por la ecuación:

$$\vec{F} = i (\vec{l} \times \vec{B}) \quad (3.4)$$

donde: i = Magnitud de la corriente en el conductor (Amp).

l = Vector longitud del conductor definida en la misma dirección en que fluye la corriente (metros).

B = Vector de densidad de flujo magnético uniforme (wb/m^2).

La magnitud de la fuerza está dada por la ecuación:

$$F = i l B \text{ sen} \theta \quad (6.5)$$

Donde θ es el ángulo entre el conductor y el vector de densidad de flujo B .

3.1.10 RELACION DE FLEMING DE LA MANO IZQUIERDA

La relación de la mano izquierda de Fleming, indica la dirección de la fuerza resultante producida sobre un conductor dentro de un campo magnético. Fig (3.6).

Esta regla establece lo siguiente: si se coloca el dedo índice de la mano izquierda en la dirección del vector de densidad de flujo B de Norte a Sur y se fija la posición del dedo medio en la dirección de la corriente, en estas condiciones el dedo pulgar indicará la dirección de la fuerza resultante.

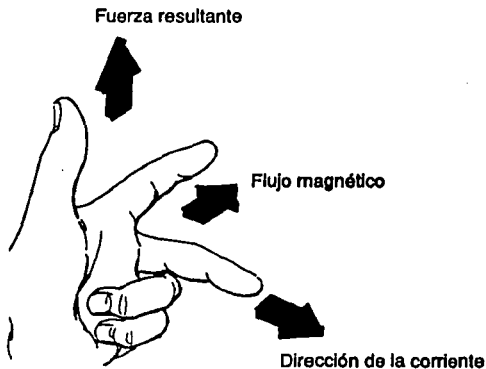


Fig (3.6) Relación de Fleming de la mano Izquierda para encontrar la fuerza resultante en un conductor dentro de un campo magnético.

3.2 PRINCIPIO DE OPERACION DEL MOTOR DE INDUCCION

El principio de operación del motor de inducción puede ilustrarse simplemente utilizando el aparato indicado en la figura 3.7(a).

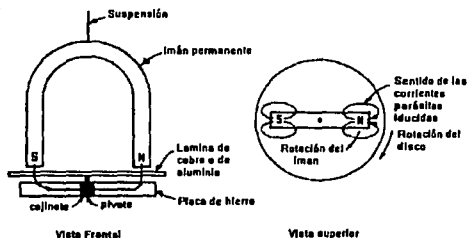


Fig (3.7) Principio de operación del motor de inducción.

Un imán permanente está suspendido encima de una lámina de cobre o de aluminio que gira sobre un eje entre dos cojinetes de una placa de hierro fija. El campo del imán permanente completa un circuito cerrado a través de la placa de hierro.

Cuando el imán gira, el disco situado debajo de él gira con él. El disco sigue el movimiento del imán debido a las corrientes inducidas producidas por el movimiento relativo entre un conductor (el disco) y un campo magnético. Por la ley de Lenz, el sentido de la tensión inducida y las consiguientes corrientes parásitas originan un campo que tiende a oponerse a la fuerza o movimiento que produjo la tensión inducida.

Como se indica en la figura 3.7(b), las corrientes inducidas tienden a producir un polo sur en el disco situado bajo el polo norte giratorio del imán y un polo norte en el punto del disco situado debajo del polo sur giratorio del imán.

Mientras el imán continúe moviéndose, se continuarán produciendo corrientes y polos de polaridad opuesta en el disco situado debajo de él. Por consiguiente el disco gira en el mismo sentido que el imán, pero debe girar a una velocidad menor que la de éste, ya que si el disco girase a la misma velocidad que el imán, no habría un movimiento relativo entre

el conductor y el campo magnético y, como consecuencia no se induciría Fem en el disco, las corrientes en el disco se anularían y no podría desarrollarse par alguno.

3.2.1. PRODUCCION DE UN CAMPO MAGNETICO GIRATORIO EN UN ESTATOR BIFASICO

El motor de inducción funciona por la acción de un campo magnético giratorio que es totalmente generado por medios eléctricos. Un tipo sencillo de campo giratorio es el que producen las corrientes bifásicas en un devanado bifásico de dos polos, como el que a continuación se describe.

Campo Giratorio Bifásico.- En las figura (3.8) se representan las secciones de un motor de inducción con estator bifásico bipolar, mientras que en la figura (3.9) están representados los vectores y curvas sinusoidales de las corrientes I_A e I_B , cuyo defasamiento es de 90° y que corresponden a los arrollamientos A y B respectivamente.

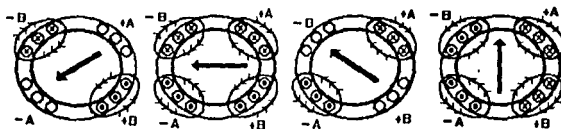


Fig (3.8) Secciones de un motor bifásico bipolar de inducción donde se muestra el campo giratorio producido por una corriente bifásica.

En cada una de las figuras los grupos de fase están designados por +A, -A, +B, -B. Los signos (+) y (-) designan los lados opuestos de las espiras del inducido de cualquier fase. Cuando una corriente es positiva se supone que entra en un grupo de fase (+) y sale por un grupo de fase (-). Si la corriente es negativa, las direcciones son opuestas a las indicadas.

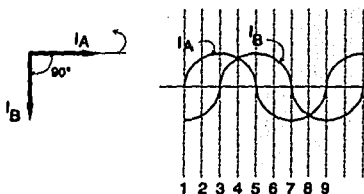


Fig (3.9) Corrientes bifásicas defasadas 90° .

En el instante 1, la corriente I_A es nula, y la corriente I_B es máxima negativa, por consiguiente, la corriente saldrá del grupo +B para entrar al grupo -B, como se indica en (1). Aplicando la regla de la mano derecha se encuentra que la Fmm está a 45° hacia abajo y a la izquierda, y se crean un polo norte (N) y un polo sur (S) como se indica.

En el instante 2, 45° de tiempo más tarde que 1, la corriente I_A es positiva y su valor es 0.707 el de su máximo. Por consiguiente las dos intensidades son numéricamente iguales y entran en los grupos -B y +A para salir en +B y -A. En este caso la Fmm resultante actúa de derecha a izquierda generando los polos N y S que se indican en (2).

En el instante 3, la corriente I_A es máxima y la corriente I_B es nula. La corriente entra en +A y sale en -A produciendo una Fmm que produce los polos N y S, como se indica en (3).

En el instante 4, las dos corrientes son positivas y ambas con un valor de 0.707 del máximo. La dirección de corrientes en los grupos B es la inversa de la que tenían en el instante (2). Las Fmm se combinan para producir un campo que actúa verticalmente y hacia abajo.

Si se hace un análisis parecido para los instantes de tiempo (5), (6), (7), (8) y (9) de la figura (3.9), los polos N y S avanzarán 45° en cada intervalo, y en el instante (9) (final del período), el campo magnético se encontrará en idéntica posición que en el instante (1) y habrá completado una revolución.

VELOCIDAD SINCRONA.- Es la velocidad de rotación del campo magnético giratorio del estator de un motor de inducción.

La velocidad de rotación de éste campo magnético giratorio esta dado por la ecuación:

$$n_{sinc} = \frac{(120 f_s)}{P} \quad (3.6)$$

donde: n_{sinc} = Velocidad del campo magnético giratorio en rev/min.

P = Número de polos generados en el estator.

f_s = Frecuencia de alimentación. en Hz.

DESLIZAMIENTO.- El voltaje inducido en el rotor de un motor de inducción, depende de la velocidad relativa del rotor con respecto al campo magnético giratorio del estator.

Un motor de inducción no puede funcionar a la velocidad síncrona por que el rotor estaría en reposo con respecto al campo giratorio y no se induciría voltaje en él.

A la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad del rotor se le llama velocidad de deslizamiento y se expresa por:

$$n_{desliz} = n_{sinc} - n_{mec} \quad (3.7)$$

Sin embargo es mas conveniente expresar la diferencia de velocidades, como un porcentaje de la velocidad síncrona. A este porcentaje de la velocidad síncrona se le llama Deslizamiento y se define como:

$$S = \frac{(n_{sinc} - n_{mec})}{n_{sinc}} \quad (3.8)$$

Se ve que si el rotor gira a la velocidad síncrona $S=0$, y si el rotor se encuentra en reposo $S=1$.

FRECUENCIA ELECTRICA EN EL ROTOR.- La frecuencia eléctrica en el rotor varía en proporción a la velocidad con que se mueve; o sea, si el rotor no se mueve, su frecuencia será la misma que la del estator, pero cuando el rotor se mueve a velocidad síncrona su frecuencia es cero.

Por lo tanto, para cualquier velocidad de rotación del motor, la frecuencia con la que se inducen los voltajes en el rotor es:

$$f_r = S f_e = \frac{P(n_{sinc} - n_{mec})}{120} \quad (3.9)$$

3.3 MOTORES MONOFÁSICOS DE INDUCCIÓN

El principal problema relacionado con el diseño de motores monofásicos es que, al contrario de los sistemas trifásicos, una fuente monofásica no produce un campo magnético giratorio. Es por ésta causa que los motores de inducción monofásicos convencionales no pueden arrancar por sí solos, haciéndose necesario crear diseños especiales.

3.3.1 PAR EQUILIBRADO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN MONOFÁSICO EN REPOSO

Debido a la gran desventaja de tener una sola fase en el devanado de su estator, el motor de inducción monofásico tiene un campo magnético que no es giratorio, en lugar de esto el campo magnético permanece siempre en la misma posición y pulsa con el tiempo. Es decir, la magnitud y dirección del campo magnético para cualquier instante de tiempo están determinadas por la magnitud y dirección instantánea de la corriente que circula por el devanado del estator.

Dado que no hay campo magnético giratorio en el estator, un motor monofásico de inducción elemental no tiene par de arranque.

En las barras del rotor se inducen voltajes debido al flujo de variación de la corriente con respecto al tiempo (F_{em} de transformador), y puesto que dichas barras están en corto, circula corriente en el rotor. Sin embargo, el campo magnético producido por esta corriente está alineado con el campo magnético del estator y no produce par neto en el rotor, fig. (3.10).

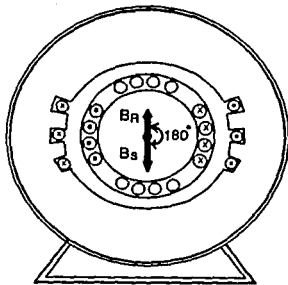


Fig (3.10) Par equilibrado del motor monofásico de inducción.

En consecuencia, para condiciones de rotor en reposo, el motor se ve como un transformador con su devanado secundario en corto circuito.

3.3.2 PRODUCCION DE PAR EN UN MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO.

En el párrafo anterior se explicó que el motor de inducción monofásico no tiene par intrínseco de arranque estando con su rotor en reposo. Sin embargo, una vez que el rotor comienza a girar se produce par. Hay dos teorías básicas que explican por que se produce par en el motor una vez que su rotor se encuentra girando. A continuación se presentan en forma resumida ambas teorías.

3.3.3 TEORIA DEL DOBLE CAMPO GIRATORIO

Esta teoría establece básicamente que cualquier campo magnético estacionario en el espacio y pulsante en magnitud puede descomponerse en dos campos magnéticos giratorios de igual magnitud y de igual velocidad angular que giran en sentidos opuestos cuyos valores máximos son la mitad del valor del campo pulsatorio inicial.

Al campo magnético giratorio que viaja en la misma dirección de rotación que el rotor se le conoce como "*campo directo o adelantado*", mientras que al campo que gira en sentido opuesto al rotor es conocido como "*campo inverso o atrasado*".

3.3.4 DESCOMPOSICION DE UN CAMPO MAGNETICO PULSANTE ESTACIONARIO EN DOS ONDAS GIRATORIAS OPUESTAS DE AMPLITUD CONSTANTE.

Quizás el mejor camino para resolver un campo magnético estacionario en componentes giratorias, es asumir dos campos giratorios opuestos de amplitud constante y sumarlos para varios intervalos de tiempo a fin de determinar la resultante. Este procedimiento se muestra en la figura (3.11), en donde todos los campos magnéticos están representados por ondas senoidales.

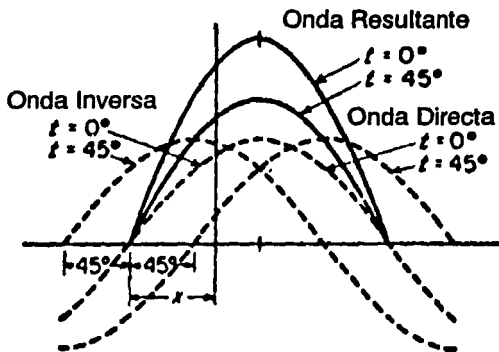


Fig (3.11) Dos ondas de amplitud constante sumadas para formar una onda senoideal pulsante en amplitud.

En ésta gráfica, las ordenadas de cada una de las dos ondas "directa e inversa" se suman para cualquier punto x en el espacio, a fin de obtener la ordenada de la onda resultante correspondiente a ese punto.

En el tiempo $t=0$, la onda directa y la onda inversa coinciden en el espacio; al sumarlas se observa que la onda resultante es una onda senoideal del doble de amplitud de cualquiera de las amplitudes máximas de las ondas componentes.

Después de 45 grados de tiempo transcurrido, $t=45^\circ$, la onda directa cambia de posición 45° hacia adelante, y la onda inversa avanza 45° hacia la izquierda. Las ordenadas de cada una de las dos componentes se suman nuevamente para algunos valores de x , obteniéndose una nueva onda resultante. Es importante hacer notar que esta nueva onda resultante, para $t=45^\circ$, es otra onda senoideal en la misma posición en el espacio respecto de la obtenida en $t=0$, pero reducida en amplitud. Al repetir este proceso para otros valores de t , nos podemos percatar de que la suma de las dos ondas senoideas de amplitud constante que giran en sentidos opuestos, producirán una onda senoideal estacionaria de amplitud pulsatoria, con una amplitud máxima del doble de cualquiera de las ondas componentes. De esto se puede concluir que: cualquier onda estacionaria de amplitud pulsante puede descomponerse en dos

ondas giratorias que se mueven en direcciones opuestas a la velocidad de sincronismo y que tienen la mitad de la amplitud máxima de la onda pulsante original.

3.3.5 TEORÍA DE LOS CAMPOS CRUZADOS

La teoría de los campos cruzados del motor de inducción monofásico se preocupa de los voltajes y corrientes que el campo magnético estacionario y pulsante del estator induce en las barras del rotor cuando éste se está moviendo.

Supongamos que el rotor ha incrementado su velocidad por algún medio externo, girando en sentido antihorario. Entonces, se producirá un Fem inducida en los conductores del rotor, (ésta es la denominada "Fem de velocidad o de rotación", porque se debe totalmente al campo magnético que es cortado por la rotación de las barras del rotor). Aplicando la regla de Fleming de la mano derecha, se ve que la dirección de esta Fem es de penetración en la mitad superior, y saliente en la mitad inferior del rotor, figura (3.12).

Los picos de los voltajes inducidos se generan en los arrollamientos que pasan directamente debajo de los devanados del estator. Estos voltajes producen circulación de corrientes en el rotor, pero como la reactancia del rotor es alta ($2\pi f_r L_r$), la corriente atrasa al voltaje alrededor de 90° .

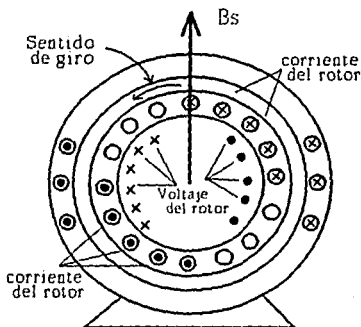
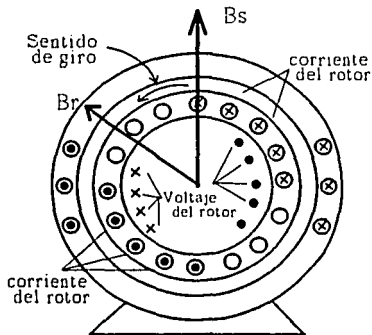


Fig (3.12) Corrimiento angular entre el plano de voltaje del rotor y el plano de la corriente pico del rotor.

Puesto que el rotor está girando cerca de la velocidad síncrona, este atraso produce un corrimiento angular cercano a 90° entre el plano del voltaje pico del rotor y el plano de la corriente pico. El campo magnético resultante en el rotor se muestra en la figura (3.13).



El campo magnético del rotor es un poco más pequeño que el campo magnético del estator a causa de las pérdidas en el rotor pero difieren en cerca de 90° en espacio y tiempo. Si estos dos campos magnéticos se suman en diferentes momentos, se ve que el campo magnético total del motor está girando en la dirección contra-horaria.

Fig (3.13) Campos magnéticos producidos por el estator y el rotor.

Con un campo magnético giratorio presente en el motor de inducción, se desarrollará un par neto en la dirección del movimiento y este par mantendrá al motor girando.

En la figura (3.14) se muestran los campos magnéticos producidos por el estator (B_s) y rotor (B_r) como una función del tiempo, y en la fig. (3.15) se ilustra el vector de campo giratorio total (B_{ω}) debido a la sumatoria de ambos campos magnéticos.

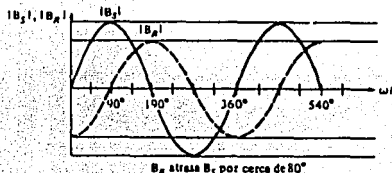


Fig (3.14) Magnitud de los campos magnéticos del estator y del rotor en función del tiempo.

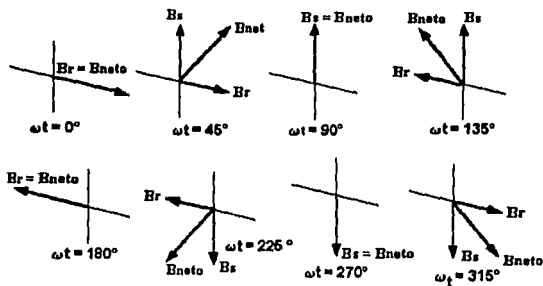


Fig (3.15) Suma vectorial de los campos magnéticos del rotor y del estator a tiempos diversos que muestran un campo magnético neto que rota en dirección contrahoraria.

3.4 TIPOS DE MOTORES DE INDUCCIÓN MONOFÁSICOS.

Debido a que el motor monofásico de inducción es esencialmente no autoarrancador, es decir, no posee el verdadero campo magnético giratorio que es fundamental en los motores polifásicos, se emplean diversos métodos para iniciar la rotación del rotor jaula de ardilla. En consecuencia, los motores monofásicos de inducción se clasifican de acuerdo con los métodos utilizados para producir su par de arranque y en general se conocen por los nombres descriptivos de tales procedimientos.

3.4.1 MOTOR DE INDUCCIÓN DE FASE PARTIDA

Generalmente el medio para dividir la corriente alterna monofásica en dos fases se encuentra dentro del circuito del estator. Una vez que se ha dividido apropiadamente la fase, se pueden usar las dos fases obtenidas para generar un campo magnético giratorio. Al proceso de obtener dos fases de una sola se define como "*división de fase o fase partida*".

El motor de fase partida es un motor monofásico de inducción que tiene dos devanados en su estator conectados en paralelo, denominados devanados "Principal" y "Auxiliar", ambos arrollamientos se encuentran en cuadratura en el espacio, es decir, tienen grupos de bobinas desplazadas mutuamente 90° eléctricos en el espacio. Al devanado auxiliar se le llama frecuentemente devanado "de arranque", mientras que al devanado principal también se le llama devanado de "operación o de marcha".

Al arrollamiento auxiliar generalmente se le devana con pocas espiras de conductor de pequeña sección transversal, inversamente, al arrollamiento principal se le devana con conductor de mayor sección transversal y más espiras. En consecuencia, el devanado auxiliar presenta una resistencia elevada y una reactancia baja, mientras que el devanado principal presenta una resistencia baja y una reactancia elevada.

El motor de fase partida también cuenta con un interruptor centrífugo que se conecta en serie con el devanado auxiliar. El interruptor centrífugo tiene la función de desconectar el devanado auxiliar del resto del circuito cuando el motor alcanza aproximadamente una velocidad del 75% a un 85% de la de sincronismo.

En la figura (3.16), se muestra el esquema de conexiones de los devanados del motor de inducción de fase partida.

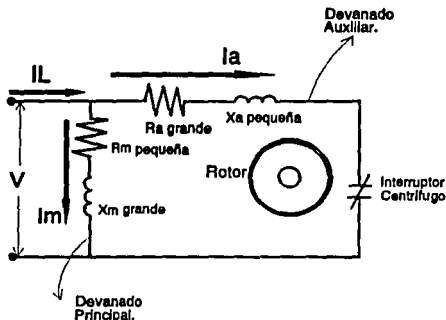


Fig (3.16) Esquema de conexiones del motor de fase partida.

3.4.1.1 PRINCIPIOS DE ARRANQUE EN LOS MOTORES DE FASE PARTIDA

Al aplicarle al motor corriente alterna monofásica ambos devanados se energizan. La corriente en el devanado auxiliar debido a su alta resistencia y baja reactancia, es menor en magnitud y tiene un defasamiento menor con respecto del voltaje de alimentación, en tanto que la corriente del devanado principal es mayor en magnitud y tiene un defasamiento mayor con respecto de la tensión misma, en consecuencia, las corrientes en los dos devanados son distintas en magnitud y están defasadas en el tiempo no necesariamente 90° . En el motor de fase partida, el defasamiento que existe entre las corrientes es generalmente del orden de 25° a 30° en el tiempo.

En la figura (3.17) se indican las relaciones de fase de las corrientes a rotor bloqueado en el momento de arranque del motor de fase partida, junto con el diagrama vectorial correspondiente.

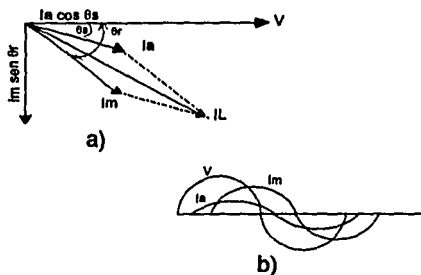


Fig (3.17) Diagrama fasorial del motor de fase partida y relación entre sus corrientes y voltajes.

A pesar del hecho de que la magnitud de la corriente en los dos devanados en cuadratura no es igual, las componentes en cuadratura sí son prácticamente iguales, por lo que se produce un campo giratorio bifásico equivalente en el arranque que desarrolla el par de arranque suficiente para acelerar el rotor en el sentido del campo giratorio producido por las corrientes.

3.4.1.2 CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS MOTORES DE FASE PARTIDA

Debido a su menor reactancia, la corriente en el devanado auxiliar siempre alcanza el máximo antes que la corriente en el devanado principal cuya reactancia es mayor, por lo que el campo magnético producido en el devanado auxiliar siempre se genera antes que el campo magnético del devanado principal. El ángulo del campo magnético de cualquiera de los devanados se puede cambiar de 90° atrás a 90° adelante, intercambiando las conexiones de los mismos, en consecuencia, la dirección del motor puede invertirse cambiando las conexiones de cualquiera de los dos devanados mientras la conexión del otro devanado permanezca sin cambio.

Los motores de fase partida tienen un deslizamiento a plena carga de un 5% aproximadamente. El par de arranque del motor es bajo, típicamente del 100 al 175% del de plena carga. El motor también desarrolla una alta corriente de arranque que varía entre 7 y 10 veces la corriente nominal a plena carga, en consecuencia, arranques frecuentes provocarían que el devanado se sobrecaliente y falle.

La curva Par-velocidad del motor de fase partida se muestra en la fig (3.18).

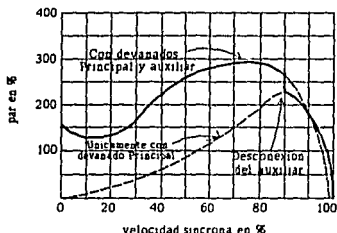


Fig (3.18) Curva par-velocidad del motor de fase partida.

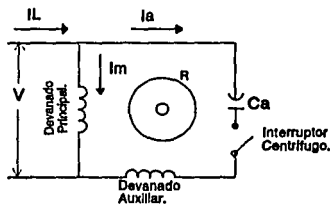
Las aplicaciones adecuadas para los motores de fase partida son aquellas que requieren arranques poco frecuentes y un tiempo anual de funcionamiento relativamente corto, por ejemplo, pequeños molinos, pequeños ventiladores y sopladores, equipos para lavanderías, y otras aplicaciones que requieren de un par de arranque bajo, con necesidades de potencia de 1/20 a 1/3 de HP.

3.4.2 MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE

En el motor de fase partida los valores distintos de reactancia de los devanados principal y auxiliar producen una diferencia de fase entre ambos de alrededor de 25° en el tiempo. En consecuencia el par de arranque desarrollado por el motor de fase partida también es inferior al máximo que podría obtenerse con una diferencia de fase ideal entre las corrientes de 90° .

A fin de mejorar el relativamente pequeño par de arranque del motor de fase partida, se intercala un capacitor en serie con el devanado auxiliar para originar un defasamiento de casi 90° (82° aproximadamente) entre las corrientes de los devanados auxiliar y principal. El empleo del capacitor tiende a reducir en cierta medida la corriente inicial total a rotor bloqueado, ya que mejora el factor de potencia proporcionando una componente que adelanta a la tensión aplicada.

Al igual que en el motor de fase partida, el motor con capacitor de arranque también cuenta con el interruptor centrífugo, el cual desconecta del circuito tanto al devanado auxiliar como al capacitor que se encuentra en serie con éste cuando el rotor alcanza un deslizamiento del 25 % aproximadamente. En la figura (3.19) se muestra el esquema de un motor con capacitor de arranque.



C_a = Capacitor de arranque.
 R = Rotor jaula de ardilla.

Fig (3.19) Esquema de conexiones del motor con capacitor de arranque.

3.4.2.1 REVERSIBILIDAD DEL MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE

El motor con capacitor de arranque, a diferencia del motor de fase partida, es un motor *reversible* debido a que es capaz de ser invertido muy por debajo de la velocidad nominal sin necesidad de que el motor pare.

Si el motor se desconecta temporalmente de la alimentación, la velocidad de este disminuye, con lo que el interruptor centrífugo se cierra. Si al mismo tiempo las conexiones del devanado auxiliar de arranque se invierten respecto a las del devanado principal y se conectan de nuevo a la alimentación, se establecerá un campo bifásico giratorio opuesto al sentido de rotación del rotor. El motor acelera hasta un deslizamiento del 25 % en sentido opuesto y, cuando el interruptor centrífugo se abre, el motor alcanza la velocidad nominal como un motor monofásico en sentido opuesto.

3.4.2.2 CARACTERÍSTICAS DE PAR EN EL MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE

El par de arranque de un motor de inducción monofásico con dos arrollamientos que se encuentran separados en un cierto número de grados eléctricos es proporcional, entre otras cosas, al producto de los siguientes factores:

- 1.- El seno del ángulo de defasamiento entre las corrientes de los dos arrollamientos.
- 2.- El producto de la corriente del arrollamiento principal por la del arrollamiento auxiliar.
- 3.- El número de espiras del arrollamiento auxiliar.

Al analizar estos tres factores, podemos observar que le son más favorables al motor con capacitor de arranque que al de fase partida.

Como se dijo, en el motor de fase partida el defasamiento entre las corrientes de sus dos arrollamientos es de aproximadamente 25° , mientras que en el motor con capacitor de arranque el defasamiento es de 82° . En consecuencia, la relación del par de arranque entre los motores con capacitor de arranque y los motores de fase partida es del orden del $\text{Sen}(82^\circ)/\text{Sen}(25^\circ)$, alrededor de 2.35 a 1, lo que eleva el par de arranque del motor con capacitor de arranque hasta valores que oscilan entre 3.5 y 4.5 del par nominal de los de fase partida. Fig (3.20). Además, la corriente de arranque en el motor con capacitor permanente es menor que la del motor de fase partida, con valores que se encuentran entre 4 y 6 veces la corriente nominal.

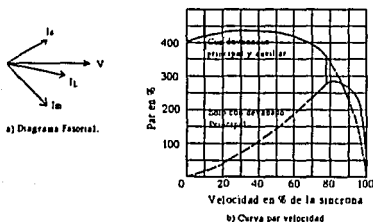


Fig (3.20) a) Relación fasorial entre corrientes y voltajes.
b) Curva par-velocidad del motor con capacitor de arranque.

3.4.2.3 APLICACIONES DEL MOTOR CON CAPACITOR DE ARRANQUE

El motor con capacitor de arranque, es el tipo de motor monofásico industrial de uso más extendido para todas aquellas aplicaciones y usos generales propios de un servicio pesado en que se requieren pares de arranque elevados y corrientes de arranque moderadas. Por lo general se encuentra construido en rangos de potencias fraccionarias superiores a 1/8 de HP hasta 10 HP. Algunas aplicaciones importantes son: compresores de refrigeración y aire acondicionado, bombas de gasolina, lavadoras, grandes ventiladores, y pequeñas transportadoras.

3.4.3 MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE

El motor con capacitor permanente es un motor monofásico de inducción, que tiene un capacitor conectado en serie permanentemente con el arrollamiento auxiliar; por lo que dicho arrollamiento no se desconecta del circuito una vez que el motor está en marcha y se puede prescindir del interruptor centrífugo. En la figura (3.21) se muestra el esquema de conexiones del motor con capacitor permanente junto con el diagrama fasorial de las corrientes auxiliar y principal.

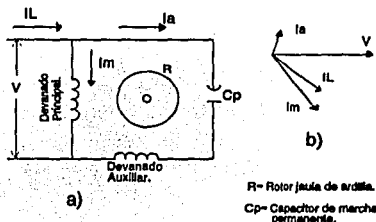


Fig (3.21) Esquema de conexiones del motor con capacitor permanente y relación entre corrientes y voltajes.

3.4.3.1 PRINCIPIOS DE ARRANQUE DEL MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE

El capacitor de servicio continuo que utiliza el motor con capacitor permanente, es de tipo aceite y su valor de capacitancia se elige de forma tal que se logre que la corriente auxiliar y la corriente principal sean iguales en magnitud y que estén defasadas en casi 90° una de la otra bajo carga nominal. Con estas condiciones de operación se logra que el campo magnético giratorio del motor sea casi uniforme entre las tres cuartas partes de la carga nominal y la plena carga. Sin embargo, puesto que la corriente de arranque es más grande que la corriente de carga nominal, el capacitor que balancea las corrientes bajo carga nominal, las deja muy desbalanceadas en las condiciones de arranque, dando lugar a pares de arranque que oscilan entre el 30% y 150% del par nominal a plena carga. Como resultado, este motor no posee el elevado par de marcha producido tanto en el motor de fase partida como en el motor de capacitor de arranque. Ver fig (3.22).

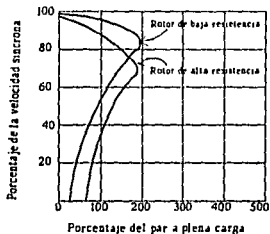


Fig (3.22) Curva Par-Velocidad del motor con capacitor permanente.

3.4.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE

El par de arranque pobre del motor con capacitor permanente lleva implicadas directamente sus ventajas, por lo que el motor es muy popular. Por ejemplo, este tipo de motor no precisa de interruptor centrífugo y se invierte fácilmente con carga nominal a la velocidad nominal, por lo que también se le considera como un motor de inversión. Además de su ventaja como motor de fácil inversión, el motor es adaptable al control de la velocidad mediante variaciones en la tensión de alimentación.

Para ajustar la tensión aplicada al estator del motor a fin de producir el control de velocidad deseado, se utilizan diversos métodos que incluyen transformadores, variacs, potenciómetros y resistencias. Estos métodos están limitados a velocidades por debajo de la de sincronismo.

3.4.3.3 APLICACIONES DEL MOTOR CON CAPACITOR PERMANENTE

Los motores con capacitor permanente no son convenientes para aplicaciones que requieren de un par importante de arranque. Sin embargo, a diferencia de los motores de fase partida, el motor con capacitor permanente tiene una baja corriente de arranque, usualmente menor al 200% de la corriente nominal a plena carga, haciéndolo excelente para aplicaciones que requieren de arranques frecuentes tales como: sopladores y ventiladores con bajo par de arranque, mecanismos de ajuste, operadores de compuertas de garaje, y otras aplicaciones de servicio intermitente invertible. Generalmente son útiles para potencias comprendidas entre 1/12 HP y 1/3 HP.

3.4.4 MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES

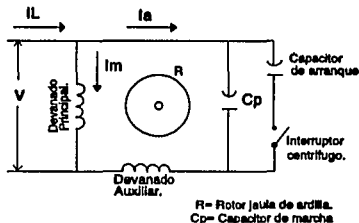
El motor con capacitor de dos valores combina lo mejor del motor con capacitor de arranque y del motor con capacitor permanente. Este tipo de motor utiliza dos capacitores que se encuentran conectados en paralelo durante el período de arranque. Uno de ellos es el capacitor de arranque, que es un capacitor electrolítico de corriente alterna de capacidad elevada (alrededor de 10 a 15 veces el valor del capacitor de marcha), similar al utilizado en el arrollamiento auxiliar del motor con capacitor de arranque, que se desconecta del circuito por medio del interruptor centrífugo. El otro capacitor en paralelo, llamado capacitor de marcha, se encuentra conectado permanentemente en serie con el devanado de arranque auxiliar y generalmente se construye con papel sumergido en aceite con capacidades comprendidas entre 3 y 16 μ F. Los capacitores electrolíticos para 115 volts y 60 hz están comprendidos entre 85 μ F o menos y 300 μ F o más.

Efecto del capacitor de marcha.- La adición del capacitor de marcha tiene por efecto:

- 1.- Aumentar el par máximo de 5% a 30%.
- 2.- Mejorar el rendimiento y el factor de potencia a plena carga.
- 3.- Tener un funcionamiento silencioso a plena carga.

3.4.4.1 PRINCIPIO DE ARRANQUE DEL MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES

El capacitor de arranque de gran capacidad y de servicio intermitente, asegura que las corrientes en ambos devanados estén aproximadamente balanceadas en el momento de arranque, alcanzando pares de arranque muy altos. Cuando el rotor aumenta su velocidad alrededor del 75 % de la velocidad síncrona, el interruptor centrífugo se abre y desconecta al capacitor de arranque, quedando solamente el capacitor de marcha en serie con el arrollamiento principal, haciendo que el motor continúe acelerando.



Motor con capacitor de dos valores.

Fig(3.23) Esquema de conexiones del motor con capacitor de dos valores.

El capacitor de marcha tiene el tamaño suficiente para balancear las corrientes a la carga nominal del motor, es decir, el efecto del capacitor de marcha es hacer que el motor funcione todavía más como un motor bifásico, particularmente para un valor de la carga.

No es posible igualar las características de un motor bifásico bajo todas las cargas con un solo valor de capacitancia, pues se necesitaría una capacidad diferente para cada valor de la carga.

3.4.4.2 CARACTERÍSTICAS DE PAR DEL MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES.

El motor con capacitor de dos valores da sensiblemente el mismo par de arranque que los motores con capacitor de arranque, no obstante, el motor con capacitor de dos valores, puede arrancar con una carga pequeña sobre la conexión de trabajo, mientras que al motor con capacitor de arranque probablemente no le será posible.

El capacitor de marcha en el motor con capacitor de dos valores aparte de aumentar el par máximo, también reduce las pulsaciones de par de doble frecuencia normalmente inherentes a los motores monofásicos. Este efecto es perceptible en las condiciones de plena carga o próximas, fig (3.24).

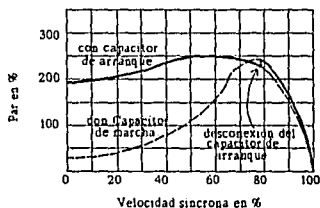


Fig (3.24) Curva Par-Velocidad del motor con capacitor de dos valores.

3.4.4.3 APLICACIONES DEL MOTOR CON CAPACITOR DE DOS VALORES

El motor con capacitor de dos valores tiene gran importancia comercial para todas aquellas aplicaciones que exigen un par de arranque elevado, tales como compresores de aire, bombas de agua de alta presión, y refrigeradores, y otras aplicaciones que requieren de una potencia de 1 a 10 HP.

A este tipo de motor también se le califica como motor de *inversión* debido a que cuando las conexiones de alguno de sus devanados se invierten, el motor cambia su sentido de giro de la forma usual.

3.4.5 MOTOR DE INDUCCIÓN DE POLOS SOMBREADOS

El motor de inducción de polos sombreados, es un motor de inducción monofásico provisto únicamente de un arrollamiento principal. En lugar de tener un devanado auxiliar, tiene polos salientes y una porción de cada polo está rodeada por una bobina cortocircuitada; llamada "espira ó bobina de sombra".

3.4.5.1 PARTES ESENCIALES DEL MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.

La mayor cualidad de este motor estriba en su simplicidad: un devanado de estator monofásico, un rotor en fundición en jaula de ardilla y unas piezas polares especiales. No se utilizan interruptores centrífugos, devanados especiales de arranque, capacitores, ni colectores. No obstante, el motor de inducción de polos sombreados es inherentemente autoarrancador.

En la figura (3.25) se muestra la constitución general del motor de polos sombreados de dos polos salientes con espiras de sombra. Las piezas polares especiales se hacen de chapa, y alrededor de la porción menor de la pieza polar se enrolla la espira de sombra cortocircuitada.

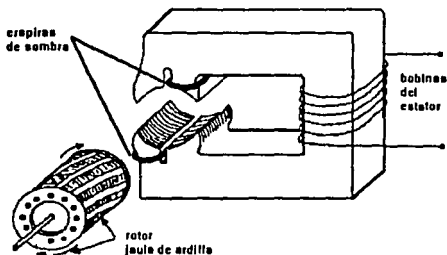


Fig (3.25) Apariencia general del motor de polos sombreados.

3.4.5.2 PRINCIPIOS DE OPERACION DEL MOTOR DE POLOS SOMBREADOS.

Como en el caso de cualquier otro motor de inducción, la rotación del motor de polos sombreados es provocada por la acción de un campo magnético giratorio creado por los arrollamientos primarios. El procedimiento de obtención del campo giratorio es ligeramente diferente del utilizado en los otros tipos de motores de inducción.

Para crear un campo magnético giratorio, no es necesario que los campos estén completamente defasados en 90° en el espacio, solo es necesario que se tengan dos campos componentes, defasados uno con respecto al otro en el tiempo y en el espacio.

Cada polo de excitación de un motor de polos sombreados puede considerarse como dividido en dos partes:

- 1.- El cuerpo principal del polo.
- 2.- La porción envuelta por la espira de sombra.

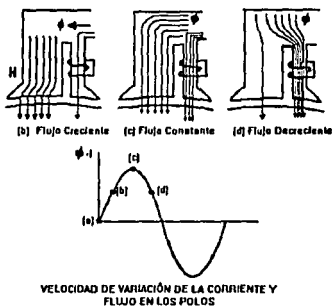


Fig (3.26) Principio de operación del motor de polos sombreados.

Considérese la figura 3.26 (b). Cuando en los polos de excitación el flujo tiende a aumentar, se induce una corriente de corto circuito en la bobina de sombra que, por la ley de Lenz, se opone a la fuerza y al flujo que la producen. Por lo tanto, cuando el flujo aumenta en cada polo de excitación, hay una concentración de flujo en la porción principal de cada polo, en tanto que la porción sombreada se opone al flujo del campo principal. En el punto (c) indicado en la figura de la onda senoidal de corriente, la velocidad de variación del flujo y de la corriente es nula y no existe Fem inducida en la bobina de sombra. En consecuencia, el flujo está distribuido uniformemente entre los polos. Cuando el flujo disminuye, la corriente en la bobina de sombra se invierte a fin de mantener el flujo en el mismo sentido, el resultado es que el flujo aumenta en la porción sombreada del polo.

Al examinar las figuras (3.26 b, c y d), se puede ver que en los intervalos (b) (c) y (d) de la onda senoidal de corriente, el efecto neto de la distribución del flujo en el polo ha sido producir un movimiento de barrido del flujo a lo largo de la cara polar que representa una rotación en el sentido de las agujas del reloj. El flujo en la porción del polo sombreado, siempre está retrasado en el tiempo respecto del flujo en el segmento principal, así como espacialmente. El resultado es que se produce un campo magnético giratorio suficiente para originar un pequeño desequilibrio en los pares del rotor tal que el par en el sentido de las agujas del reloj exceda al par en el sentido contrario y el rotor gira siempre en el sentido del campo giratorio.

3.4.5.3 APLICACIONES DEL MOTOR DE INDUCCION DE POLOS SOMBREADOS

Los motores monofásicos de inducción de polos sombreados son utilizados en una gran variedad de aplicaciones en las que se requiere un motor de potencia igual o inferior a 1/4 HP. Sus características de par son muy similares a las del motor con capacitor permanente, excepto que tienen un rendimiento menor y un factor de potencia más bajo. Estos factores no son serios en motores con estas potencias, pero su reducido par de arranque limita su aplicación a motores muy pequeños (de 1/20 HP o menos) como son: motores de tocadiscos, ventiladores, proyectores cinematográficos, pequeñas máquinas comerciales tales como fotocopiadoras, máquinas vendedoras, etc. Son utilizables con engranes reductores para obtener casi cualquier velocidad, incluso inferiores a una revolución mensual.

CAPITULO 4

Cálculos de Funcionamiento del Motor de Inducción Monofásico

4.1 VISION CUANTITATIVA DE LA TEORIA DEL DOBLE CAMPO GIRATORIO

La teoría del doble campo giratorio es útil no solo para tener una visión cualitativa de lo que ocurre en el motor de inducción monofásico, sino que también es capaz de desarrollarse en una teoría cuantitativa aplicable a una gran variedad de motores de inducción. La otra teoría; teoría de los campos cruzados, conduce a los mismos resultados substanciales de la teoría del doble campo giratorio, no obstante, la teoría del doble campo giratorio puede considerarse como una extensión de la aplicada al motor de inducción polifásico y es la única tratada en este capítulo. Las bases matemáticas de este principio se muestran a continuación.

En prácticamente todos los cálculos ordinarios de los motores de inducción se asume que la densidad de flujo magnético en el entrehierro, en cualquier instante de tiempo, varía sinusoidalmente en el espacio alrededor de la periferia. Si la distribución del flujo no es sinusoidal, se puede descomponer en una onda fundamental más un número de armónicos. Un estudio de estos armónicos y sus efectos no se muestran en la presente discusión, por el momento sólo se considerará a la componente fundamental.

En la fig (4.1) se representa esquemáticamente el desarrollo de un polo del devanado del estator de un motor de inducción monofásico mediante los laterales de una bobina concéntrica. Hay que recordar, sin embargo, que el devanado real de un estator está distribuido entre un cierto número de ranuras de tal forma que la distribución de la F_{mm} es, aproximadamente senoidal y centrada con el eje de la bobina.

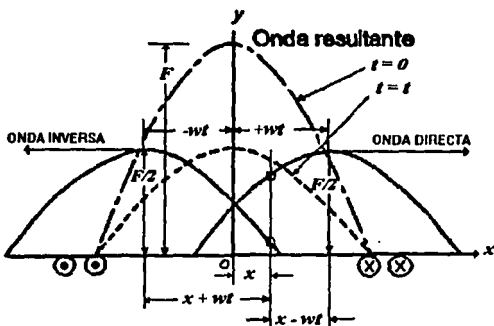


Fig (4.1) Descomposición de una onda pulsante en dos ondas giratorias opuestas.

En la figura (4.1) se muestra que en el tiempo $t=0$, las amplitudes máximas de cada una de las ondas componentes, directa e inversa coinciden con el "eje y" (eje magnético del devanado del estator); para cualquier otro instante de tiempo $t \neq 0$, cada una de las ondas se mueven del centro del eje y, a otra posición alrededor del entrehierro, dicha posición en el tiempo está dada por los ángulos $+\omega t$ y $-\omega t$ que determinan la rotación en sentidos opuestos de las ondas alrededor del entrehierro a la velocidad angular de ω radianes eléctricos por segundo.

A continuación se encontrará la ecuación que resulta de la sumatoria de la onda directa con la onda inversa.

sean:

f_d = magnitud de la onda directa en el punto X.

f_i = magnitud de la onda inversa en el punto X.

f_x = magnitud de la onda resultante en el punto X.

Por inspección de la Fig (4.1), se tiene que:

$$f_{xt} = \frac{F}{2} \cos(x - \omega t) = \frac{F}{2} (\cos x \cos \omega t + \text{sen} x \text{ sen} \omega t) \quad (4.1)$$

$$f_{xb} = \frac{F}{2} \cos(x + \omega t) = \frac{F}{2} (\cos x \cos \omega t - \text{sen} x \text{sen} \omega t) \quad (4.2)$$

de donde:

$$f_x = f_{xf} + f_{xb} = F \cos x \cos \omega t \quad (4.3)$$

La ecuación (4.3) representa la magnitud de la onda de Fmm pulsante como una función del tiempo y del espacio. Con dicha expresión, se puede conocer la magnitud de la onda pulsante estacionaria para cualquier punto X alrededor del entrehierro en cualquier instante de tiempo. X es el espacio angular eléctrico medido a partir del eje magnético del devanado del estator (eje y).

En un motor monofásico, la onda de Fmm es realmente la que se descompone en dos ondas de Fmm que giran en sentidos opuestos; pero frecuentemente es más conveniente pensar en dos ondas de flujo contragiratorias.

4.2 CARACTERÍSTICA PAR-VELOCIDAD DEL MOTOR MONOFÁSICO DE INDUCCIÓN

La característica par-velocidad del motor monofásico de inducción muestra que si éste se arranca por cualquier procedimiento auxiliar, una vez en marcha desarrollará un par, cualquiera que sea el sentido de rotación.

La descomposición de un campo magnético pulsante y fijo en el espacio en dos campos giratorios opuestos, permite asimilar un motor monofásico a dos motores trifásicos, cuyos campos giran en sentidos opuestos y con los rotores montados sobre el mismo eje.

Si la velocidad del rotor, en r.p.m. es n_{mec} , el deslizamiento del rotor con respecto del campo magnético directo es:

$$S = S_f = \frac{(n_{sInc} - n_{mec})}{n_{sInc}} = 1 - \frac{n_{mec}}{n_{sInc}} \quad (4.4)$$

entonces, la frecuencia de las corrientes rotóricas inducidas por el campo directo será:

$$f_{Rf} = Sf_e \quad (4.5)$$

ya que el flujo del campo magnético inverso gira opuesto al rotor, el deslizamiento del rotor con respecto al campo magnético inverso es:

$$S_b = \frac{n_{sinc} - (-n_{mec})}{n_{sinc}} = 1 + \frac{n_{mec}}{n_{sinc}} = 2 - S \quad (4.6)$$

y la correspondiente frecuencia de las corrientes rotóricas inducidas por el campo inverso, de sentido opuesto a n_{mec} será:

$$f_{Rb} = (2 - S) f_e \quad (4.7)$$

Cada uno de los campos componentes, ejerce una acción motora de inducción, pero sus correspondientes pares están en oposición. Esta situación se ha representado con las líneas de trazos *f* y *b* de la fig.(4.2).

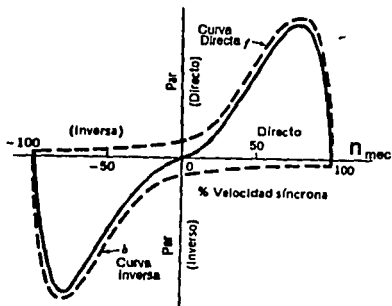


Fig (4.2) Curva Par-Velocidad del motor monofásico de inducción.

Según las Ecs (4.4) y (4.6), cuando el rotor se encuentra en reposo, la velocidad relativa de cada uno de los dos campos giratorios respecto al rotor es la misma, por lo que el deslizamiento para cada uno de los campos resulta en $Sf=1=S_b$, por lo tanto, las correspondientes componentes de par de cada campo que actúan sobre el rotor, al ser iguales y de sentido opuesto, ocasionan que no exista par de arranque alguno en el motor. Ahora

bien, si por un impulso exterior, o por el artificio de disponer de una fase auxiliar que sea capaz de determinar junto con el devanado monofásico principal un pequeño par de giro sobre el rotor, conseguimos que éste se mueva en un sentido u otro, aquellos pares, al ser distinto el deslizamiento de cada uno de los campos respecto al rotor, se desequilibran manifestándose sobre el rotor un par que tiende a arrastrarlo en el mismo sentido en el que se inició el movimiento.

4.3 CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR DE INDUCCIÓN MONOFÁSICO FUNCIONANDO CON UN SOLO DEVANADO.

4.3.1 CONDICIÓN DE ROTOR PARADO.

La mejor forma de empezar el análisis del motor de inducción monofásico es considerar la situación de que el rotor se encuentra parado y únicamente el devanado principal está excitado. En estas condiciones, el motor equivale a un transformador monofásico con su secundario en corto circuito. El circuito equivalente se muestra en la figura (4.3).

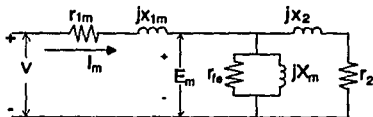


Fig (4.3) circuito equivalente del motor monofásico de inducción en punto de reposo.

En la figura anterior r_{1m} y x_{1m} son la resistencia y la reactancia de dispersión del devanado principal respectivamente, X_m es la reactancia de magnetización, y r_2 y x_2 son los valores de la resistencia y de la reactancia de dispersión del rotor parado reducidos ambos al devanado del estator utilizando la relación de espiras ($a = N_a/N_m$) adecuada. Las pérdidas en el núcleo (hierro) en este circuito equivalente han sido representadas por la resistencia r_{fe} . La tensión aplicada a las terminales del devanado principal es V , y la corriente que circula por el mismo es I_m ; E_m es la F_{cem} total (Fuerza contraelectromotriz total) que se induce en el devanado principal debido a la onda de flujo pulsante y estacionaria del entrehierro, que

a su vez, es producida por la acción combinada de la corriente I_m del estator y las corrientes inducidas en las barras del rotor.

De acuerdo con la teoría del doble campo giratorio, cada uno de los campos directo e inverso en que se descompone la Fmm pulsante del estator y que giran a velocidad de sincronismo, contribuyen con igual parte a las caídas de tensión resistiva y reactiva en el circuito del rotor, pudiéndose así, dividirse al circuito equivalente de la figura anterior en dos secciones, donde cada sección corresponde al efecto separado de cada uno de los campos directo e inverso, los cuales producen las fems E_{mf} y E_{mb} respectivamente en el devanado principal. Los factores 0.5 proceden de la descomposición de la Fmm pulsatoria del estator en sus dos componentes. Fig(4.4).

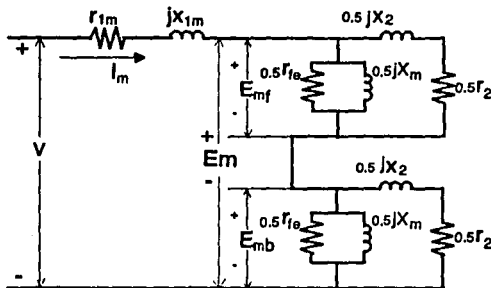


Fig (4.4) Circuito equivalente del motor de inducción en reposo viéndose los efectos de los campos directo e inverso.

4.3.2 CONDICIÓN DE ROTOR EN MOVIMIENTO.

Supongamos que se hace girar el rotor del motor con algún medio auxiliar en el sentido del campo directo. Según la discusión anterior (apartado 4.2), el deslizamiento del rotor con respecto al campo magnético directo es $S_r = S$, mientras que el deslizamiento del rotor con respecto al campo inverso es $S_r = 2 - S$. Tomando en cuenta dichas condiciones, se mostrará la relación que existe entre el rotor y los campos magnéticos directo e inverso.

En primer lugar se considerará la situación del rotor con respecto al campo directo. Las corrientes que se inducen en el rotor por el campo directo del estator, tienen la frecuencia $f_{rd} = Sf_s$. Estas corrientes inducidas producen una Fmm que se desplaza hacia adelante a velocidad de deslizamiento respecto al giro del rotor y por lo tanto a velocidad síncrona respecto del estator. La Fmm del rotor y la Fmm del estator generan a su vez una onda de flujo resultante directa en el entrehierro del motor, la cual induce la fem E_{mf} en el devanado principal del estator.

Ahora consideraremos la situación del rotor con respecto al campo inverso. Las corrientes que son inducidas en el rotor por el campo inverso tienen una frecuencia igual a $f_{ri} = (2-S)f_s$, y producen una Fmm que se desplaza en sentido contrario al giro del rotor. Esta Fmm rotórica y la Fmm del estator producen la onda de flujo inversa total en el entrehierro, que induce la fem E_{mb} en el devanado principal. Cuando se toman en cuenta los deslizamientos directo e inverso, el resultado es el circuito equivalente de la fig (4.5).

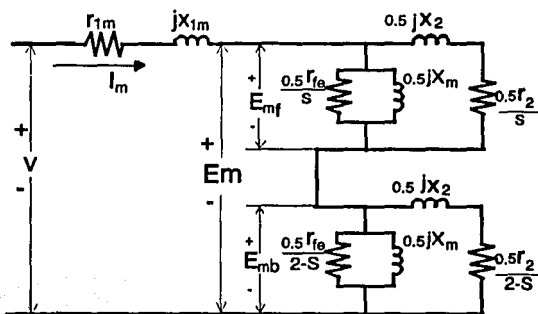


Fig (4.5) Circuito equivalente del motor monofásico cuando se encuentra en movimiento.

Visto desde el estator, el efecto producido en el rotor, por las reacciones de todos los elementos del campo directo está representado por la impedancia Z_d de la fig (4.6), mientras que el efecto en el rotor debido a la reacción de todos los elementos del campo inverso está representado por la impedancia Z_i de la misma figura. Los valores de éstas impedancias están dadas por:

$$Z_f = [0.5] \frac{jX_m \frac{I_{fe}}{S} \left[\frac{I_2}{S} + jx_2 \right]}{jX_m \left(\frac{I_2}{S} + jx_2 \right) + \frac{I_{fe}}{S} \left[\frac{I_2}{S} + j(X_m + x_2) \right]} \quad (4.8)$$

$$Z_b = [0.5] \frac{jX_m \frac{I_{fe}}{(2-S)} \left[\frac{I_2}{(2-S)} + jx_2 \right]}{jX_m \left(\frac{I_2}{(2-S)} + jx_2 \right) + \frac{I_{fe}}{(2-S)} \left[\frac{I_2}{(2-S)} + j(X_m + x_2) \right]} \quad (4.9)$$

y la corriente que circula por el devanado del estator del motor, en términos de Z_f y Z_b es:

$$I_m = \frac{V}{Z_1 + jX_1 + Z_f + Z_b} \quad (4.10)$$

El circuito equivalente simplificado del motor monofásico de inducción se muestra en la figura (4.6), y representa al motor girando y trabajando únicamente con uno de sus dos devanados estáticos, en este caso, el devanado principal.

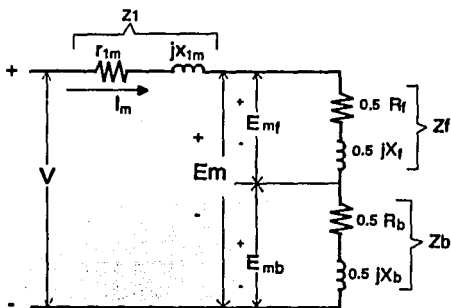


Fig (4.6) Circuito equivalente simplificado del motor monofásico.

4.3.3 PAR Y POTENCIA PRODUCIDOS

Las condiciones mecánicas de salida del motor de inducción monofásico, pueden calcularse aplicando las relaciones entre par y potencia existentes, pudiéndose tratar de igual manera tanto al par producido por el campo directo como el generado por el campo inverso.

La potencia en el entrehierro del motor monofásico de inducción es la potencia que suministra el devanado del estator a las componentes resistivas R_f y R_b de las impedancias directa Z_f e inversa Z_b respectivamente del circuito del rotor.

La potencia en el entrehierro que consume la componente resistiva R_f de la impedancia Z_f puede expresarse como:

$$P_{gf} = I_m^2 (0.5 R_f) \quad (4.11)$$

de modo similar, la potencia en el entrehierro consumida por la componente resistiva R_b de la impedancia inversa Z_b se expresa como:

$$P_{gb} = I_m^2 (0.5 R_b) \quad (4.12)$$

La ventaja de éstas dos ecuaciones es que solo se debe calcular la corriente I_m para determinar las dos potencias.

Entonces, la potencia total en el entrehierro de un motor monofásico de inducción es:

$$P_g = P_{gf} - P_{gb} = 0.5 I_m^2 (R_f - R_b) \quad (4.13)$$

El par interno τ_f , inducido por el campo directo, es igual a $1/\omega_{sinc}$ veces la potencia P_{gf} en watts, siendo ω la velocidad angular expresada en rad/seg; por lo tanto:

$$\tau_f = \frac{P_{gf}}{\omega_{sinc}} \quad (4.14)$$

De igual forma, el par interno τ_b , inducido por el campo inverso es:

$$\tau_b = \frac{P_{gb}}{\omega_{sinc}} \quad (4.15)$$

Este último par, actúa en sentido opuesto al par correspondiente del campo directo, por lo que el par interno total o par electromagnético resultante será:

$$\tau_{ind} = \frac{0.5 I_m^2 (R_f - R_b)}{\omega_{sinc}} = \frac{(P_{gf} - P_{gb})}{\omega_{sinc}} = \frac{P_g}{\omega_{sinc}} \quad (4.16)$$

Las pérdidas en el cobre del rotor de un motor de inducción, equivalen al movimiento relativo que existe entre el rotor mismo y un campo magnético giratorio (deslizamiento), multiplicado por la potencia en el entrehierro de la máquina.

Por lo tanto, las pérdidas en el cobre del rotor, producidas por el campo giratorio directo son:

$$P_{Rcf} = S P_{gf} \quad (4.17)$$

Mientras que las debidas al campo giratorio inverso serán:

$$P_{Rcb} = (2-S) P_{gb} \quad (4.18)$$

Las pérdidas de las ecuaciones (4.17) y (4.18) tienen frecuencias diferentes, entonces, su sumatoria equivale al total de las pérdidas en el cobre del rotor.

$$P_{RC} = P_{Rcf} + P_{Rcb} \quad (4.19)$$

La potencia eléctrica que se convierte en energía mecánica dentro del motor de inducción está dada por:

$$P_{Conv} = \tau_{ind} \omega_{mec} \quad (4.20)$$

Puesto que $\omega_{mec} = (1-S)\omega_{sinc}$, la ecuación (4.20) puede reexpresarse como:

$$P_{Conv} = \tau_{ind} (1-S) \omega_{sinc} \quad (4.21)$$

Pero $P_g = \tau_{ind} \omega_{sinc}$, por lo que P_{conv} expresada en Watts es:

$$P_{Conv} = P_g (1-S) \quad (4.22)$$

En el modelo del motor de inducción, las pérdidas rotacionales, las pérdidas mecánicas y las pérdidas adicionales, deben restarse de P_{Conv} para obtener la potencia total de salida P_{SAL} .

Finalmente, el par de salida o par de carga esta dado por:

$$\tau_{Carga} = \frac{P_{SAL}}{\omega_{mec}} \quad (4.23)$$

y la eficiencia del motor es:

$$\eta = \frac{P_{SAL}}{P_{ENT}} \times 100 \quad (4.24)$$

4.4 CALCULOS DE FUNCIONAMIENTO CON DEVANADOS COMBINADOS EN EL MOTOR DE INDUCCION MONOFASICO.

En el apartado precedente se explicó el procedimiento para calcular el funcionamiento del motor monofásico de inducción, cuando opera con solamente uno de sus dos devanados. Sin embargo, la mayoría de éste tipo de motores, tales como los de fase partida y tipo capacitor, también necesitan del devanado auxiliar para poder arrancar; los cálculos de funcionamiento cuando ambos devanados se toman en cuenta dentro del circuito equivalente son necesarios si se desea llegar a obtener el mejor diseño posible del motor. Por lo tanto la principal atención de éste apartado será el desarrollar una teoría y un método práctico para hacer cálculos de funcionamiento con tal combinación de devanados.

4.4.1 MOTOR CON DEVANADOS EN CUADRATURA EN EL ESPACIO.

En la fig(4.7) se representa un motor monofásico con sus dos devanados estáticos (principal y auxiliar) en cuadratura en el espacio, es decir, los grupos de bobinas de cada uno de los devanados se encuentran desplazadas mutuamente en el espacio por 90° eléctricos.

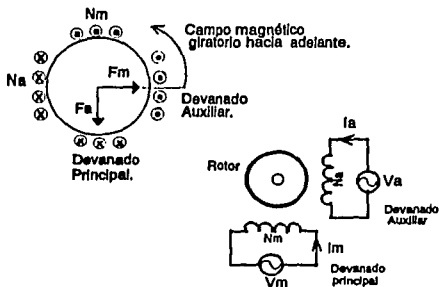


Fig (4.7) Esquema del motor monofásico de inducción con sus dos devanados en cuadratura en el espacio.

En dicha figura se observa que la dirección de rotación del motor es del eje magnético del devanado auxiliar hacia el eje magnético de la fase principal, esto se debe a que la corriente auxiliar adelanta a la corriente de la fase principal. Cuando el rotor gira en dicho sentido, se dice que la dirección de rotación del motor es hacia adelante.

Cada uno de los dos devanados del estator genera sus propios campos directo e inverso, haciendo que existan cuatro componentes giratorias en total en el entrehierro del motor. Debido a que ambos devanados se encuentran en cuadratura en el espacio, y también a que el entrehierro del motor es casi uniforme, no hay una inductancia mutua apreciable entre estos dos devanados, no obstante, cada uno de los cuatro campos giratorios componentes induce una fem en cada uno de los devanados del estator. El cálculo de estas fems se presenta a continuación.

4.4.2 VOLTAJES INDUCIDOS POR LOS CAMPOS DIRECTO E INVERSO.

La figura (4.8) muestra el circuito equivalente de los devanados principal y auxiliar del motor monofásico de inducción. En ambos circuitos las cantidades del rotor $R_r + jX_r = Z_r$ y $R_b + jX_b = Z_b$, están todas referidas a la fase principal. Estas mismas cantidades se incorporan en el circuito de la fase auxiliar haciendo uso de la relación de impedancias a^2 . Además la impedancia que se encuentra en serie con el devanado auxiliar se ha definido de modo que incluya a la impedancia del capacitor Z_c , si hay alguno.

Las ecuaciones de voltaje para cada uno de los devanados principal y auxiliar son, respectivamente:

$$V_m = (r_1 + jx_1) I_m + E_m = Z_1 I_m + E_m \quad (4.25)$$

$$V_a = (r_{1a} + jx_{1a} + R_c + jx_c) I_a + E_a = (Z_{1a} + Z_c) I_a + E_a \quad (4.26)$$

El voltaje E_m de la ecuación (4.25) resulta no solamente de las fems E_{mf} y E_{mb} producidas por los dos campos giratorios del propio devanado principal, sino que también contiene a los voltajes inducidos por los campos giratorios del devanado auxiliar.

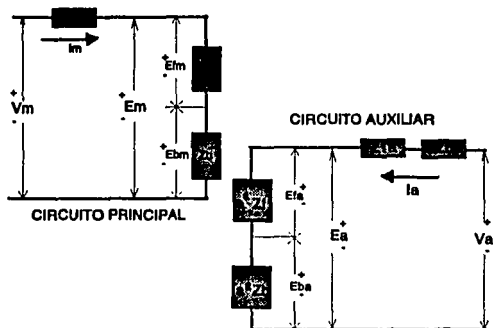


Fig (4.8) Circuito equivalente simplificado de los devanados principal y auxiliar del motor monofásico de inducción.

Esto puede entenderse fácilmente considerando al motor girando en dirección hacia adelante en su devanado auxiliar y con la fase principal abierta. Con la fase principal abierta $I_m' = 0$ y para esa condición la ec.(4.25), se transforman en:

$$V_m = E_m \quad (4.27)$$

La ecuación (4.26) no sufre cambio alguno. Sin embargo, el voltaje E_a de dicha ecuación es:

$$E_a = E_{fa} + E_{ba} \quad (4.28)$$

donde E_{fa} y E_{ba} son las fcems inducidas en el devanado auxiliar debido a sus propios flujos directo e inverso. Dado que el devanado principal está desplazado respecto del devanado auxiliar por 90° eléctricos en la dirección de rotación, el voltaje que se induce en el devanado principal debido al flujo directo de la fase auxiliar está atrasado en 90° al voltaje E_a .

Lo opuesto también es verdadero para los efectos del flujo inverso, por lo tanto:

$$E_m = -j \frac{E_{fa}}{a} + j \frac{E_{ba}}{a} \quad (4.29)$$

Cuando ambos devanados están energizados, los efectos de todos los flujos deben ser tomados en cuenta con el resultado en:

$$V_m = Z_1 I_m + E_{fm} - \frac{jE_{fa}}{a} + E_{bm} + \frac{jE_{ba}}{a} \quad (4.30)$$

$$V_a = (Z_{1a} + Z_c) I_a + E_{fa} + jaE_{fm} + E_{ba} - jaE_{bm} \quad (4.31)$$

Los voltajes que se inducen en el devanado principal debido a los campos directo e inverso del devanado auxiliar se pueden expresar en las siguientes formas más convenientes:

Por el campo directo:

$$\frac{-jE_{fa}}{a} = -jaI_a Z_f \quad (4.32)$$

Por el campo inverso:

$$\frac{+jE_{ba}}{a} = +jaI_a Z_b \quad (4.33)$$

Por una razón similar, los voltajes inducidos en el devanado auxiliar por los campos del devanado principal son:

por el campo directo:

$$+jaE_{fm} = +jaI_m Z_f \quad (4.34)$$

por el campo inverso:

$$-jaE_{bm} = -jaI_m Z_b \quad (4.35)$$

Generalmente los dos devanados del motor monofásico se conectan a la misma línea de tensión monofásica por lo tanto:

$$V = V_a = V_m$$

y la corriente total suministrada al motor es:

$$I = I_m + I_a$$

4.4.3 PAR Y POTENCIA PRODUCIDOS CON DEVANADOS COMBINADOS.

Para calcular el par del motor con devanados combinados, es necesario determinar separadamente los pares desarrollados por los campos directo e inverso.

La ecuación (4.30) puede reescribirse en términos de las corrientes I_m e I_a y de las impedancias Z_f y Z_b , quedando de la siguiente manera:

$$V_m = Z_1 I_m + I_m Z_f - ja I_a Z_f + I_m Z_b + ja I_a Z_b \quad (4.36)$$

Entonces, las magnitudes de cada uno de los campos pueden determinarse agrupando los coeficientes de Z_f y Z_b , obteniéndose:

Voltaje inducido en el devanado principal por el campo directo total resultante.

$$(I_m - ja I_a) Z_f$$

Voltaje inducido en el devanado principal por el campo inverso total resultante.

$$(I_m + ja I_a) Z_b$$

Resulta evidente que los coeficientes de Z_f y Z_b en las dos expresiones anteriores inmediatas son las corrientes equivalentes generadas por los campos directo e inverso. Es decir, el campo adelantado total es el mismo que uno generado por una corriente $(I_m - ja I_a)$ circulando en el devanado principal. El campo inverso total es el mismo que uno generado

por una corriente $(I_m + jaI_a)$ circulando en el devanado principal. Los pares debidos a cada uno de los campos se pueden encontrar multiplicando el cuadrado de la corriente por la componente resistiva concerniente a cada campo. Por lo tanto es conveniente encontrar el cuadrado de los valores escalares de $(I_m - jaI_a)$ e $(I_m + jaI_a)$.

En la figura (4.9), se representan los vectores I_m y aI_a , con aI_a adelantando a I_m un ángulo ϕ . El vector aI_a se rota 90° hacia adelante y se dibuja como $+jaI_a$, también se rota 90° hacia atrás y se dibuja como $-jaI_a$, a cada uno de éstos vectores se les suma I_m como se muestra.

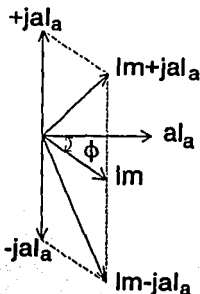


Fig (4.9) Corrientes en el motor de inducción monofásico.

Por la ley de los cosenos se tiene:

$$(I_m - jaI_a)^2 = I_m^2 + (aI_a)^2 + 2aI_mI_a \text{sen}\phi \quad (4.37)$$

$$(I_m + jaI_a)^2 = I_m^2 + (aI_a)^2 - 2aI_mI_a \text{sen}\phi \quad (4.38)$$

Antes de proseguir es conveniente recordar que las ecuaciones de potencia en el motor monofásico trabajando con un solo devanado son, para el campo directo e inverso respectivamente:

$$P_{gf} = I_m^2 R_f \quad \text{y} \quad P_{gb} = I_m^2 R_b$$

Entonces, sustituyendo los miembros de la derecha de las ecs (37) y (38) por I_m^2 en las expresiones de potencia anteriores, se obtienen las siguientes ecuaciones de potencia con devanados combinados.

$$P_{gf} = [I_m^2 + (aI_a)^2 + 2aI_mI_a \text{sen}\phi] R_f \quad (4.39)$$

$$P_{gb} = [I_m^2 + (aI_a)^2 - 2aI_mI_a \text{sen}\phi] R_b \quad (4.40)$$

Combinando 39 y 40 y reagrupando términos se obtiene.

$$P_g = P_{gf} - P_{gb} = [I_m^2 + (aI_a)^2] (R_f - R_b) + 2aI_mI_a (R_f + R_b) \text{sen}\phi \quad (4.41)$$

Entonces el par desarrollado con devanados combinados es:

$$\tau_{Ind} = \frac{P_{gf} - P_{gb}}{\omega_{sinc}} = \frac{P_g}{\omega_{sinc}} \quad (4.42)$$

**ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA**

4.4.4 SOLUCION DEL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL MOTOR MONOFÁSICO DE INDUCCION CON DEVANADOS COMBINADOS.

La fig(4.10), muestra los circuitos equivalentes de los devanados principal y auxiliar del motor monofásico de inducción. Debe hacerse notar que éste circuito es el de la figura (4.8) modificado para incluir a los voltajes que se inducen en los devanados principal y auxiliar debidos a los campos producidos por ellos mismos. Además, la resistencia r_b ha sido separada de los elementos del circuito del rotor colocándose en una rama independiente, por lo que Z_r y Z_b de las ecs. (4.8) y (4.9) respectivamente se convierten en:

$$Z_r = R_r + jX_r = \frac{\left(\frac{r_2}{s} + jx_2\right) (jx_m)}{\frac{r_2}{s} + j(x_2 + x_m)} \quad (4.43)$$

$$Z_b = R_b + jX_b = \frac{\left(\frac{r_2}{2-s} + jx_2\right) (jx_m)}{\frac{r_2}{2-s} + j(x_2 + x_m)} \quad (4.44)$$

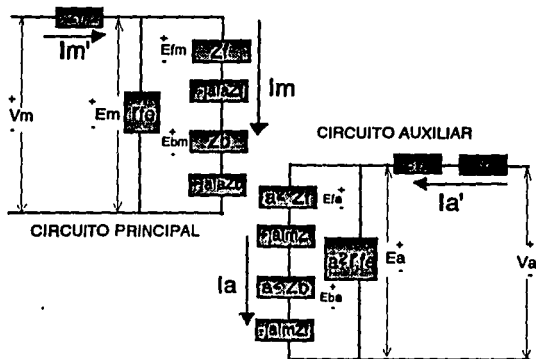


Fig (4.10) Circuito equivalente del motor monofásico de inducción, con sus devanados principal y auxiliar energizados.

Para el circuito del devanado principal se consideran dos ecuaciones de malla.

La ecuación de voltajes para la malla que contiene a r_{f0} es:

$$V_m = Z_1 I_m' + r_{f0} (I_m' - I_m) \quad (4.45)$$

agrupando coeficientes se tiene:

$$V_m = I_m' (Z_1 + r_{f0}) - I_m r_{f0} \quad (4.46)$$

a través de la malla del circuito del rotor, la ecuación de voltajes es:

$$V_m = Z_1 I_m' + (Z_f + Z_b) I_m - j a (Z_f - Z_b) I_a \quad (4.47)$$

hagamos

$$Z_a = (Z_f + Z_b) \quad y \quad Z_b = (Z_f - Z_b) \quad (4.48)$$

sustituyendo a Z_a y Z_b en la ec. (4.47), obtenemos:

$$V_m = Z_1 I_m' + Z_a I_m - j a Z_d I_a \quad (4.49)$$

para eliminar a I_m' de las ecs. (4.46) y (4.49), establecemos que:

$$F_1 = \frac{Z_1}{(Z_1 + r_{f0})} \quad (4.50)$$

Multiplicando F_1 por la ec.(4.46) y restando el resultado a la ec.(4.49), se obtiene la siguiente expresión de voltajes del devanado principal en función de I_m e I_a .

$$(1 - F_1) V_m = (Z_a + F_1 r_{f0}) I_m - j a Z_d I_a \quad (4.51)$$

De manera similar se pueden escribir las dos ecuaciones de malla del circuito del devanado auxiliar.

Primero hagamos:

$$Z_{1sc} = (Z_{1s} + Z_c) \quad y \quad F_2 = \frac{Z_{1sc}}{(Z_{1sc} + a^2 r_{f0})} \quad (4.52)$$

Entonces, la ecuación de voltajes a través de la malla que contiene a r_{1s} , después de agrupar coeficientes es:

$$V_a = (Z_{1sc} + a^2 r_{f0}) I_a' - a^2 r_{f0} I_a \quad (4.53)$$

del mismo modo, la ecuación que resulta de la malla a través del circuito del rotor es:

$$V_a = Z_{1sc} I_a' + jaZ_d I_m + a^2 Z_s I_a Z_d \quad (4.54)$$

eliminando a I_a' de las dos ecuaciones inmediatas anteriores, se obtiene:

$$V_a (1 - F_2) = jaZ_d I_m + (a^2 Z_s + F_2 a^2 r_{f0}) I_a \quad (4.55)$$

Las ecs. (4.51) y (4.55) se resuelven simultáneamente para obtener los valores de I_m e I_a .

$$I_m = \frac{a^2 [V_a (1 - F_2) Z_s + F_2 r_{f0}] + [V_a (1 - F_2) (jaZ_d)]}{a^2 [(Z_s + F_2 r_{f0}) (F_1 r_{f0} + Z_s) - Z_d^2]} \quad (4.56)$$

$$I_a = \frac{V_a (1 - F_2) (F_1 r_{f0} + Z_s) - V_m (1 - F_1) (jaZ_d)}{a^2 [(Z_s + F_2 r_{f0}) (F_1 r_{f0} + Z_s) - Z_d^2]} \quad (4.57)$$

conociendo a I_m e I_a , se pueden obtener los valores de I_m' e I_a' por medio de las ecs. (4.46) y (4.53) respectivamente.

CAPITULO 5

Metodología General de Diseño Del Motor de Inducción Monofásico

5.1 PROCESO DE DISEÑO DEL MOTOR DE INDUCCION

El diseño se 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, materiales y tipo de construcción necesarios para obtener un diseño confiable que satisfaga los objetivos de operación y costo del mismo ^[6], cumpliendo con las restricciones impuestas por las normas de calidad y las necesidades del mercado. 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".

^[6] 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.

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.

En el diagrama (5.1) se muestra 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.

Como se observa, para iniciar el proceso de diseño, se parte de las especificaciones del usuario; en las que él establece los valores nominales de operación del motor e informa al fabricante de las condiciones de funcionamiento requeridas en el lugar de la instalación. Esta información se complementa con los requisitos de operación que fijan las normas industriales, con lo cual se integran las restricciones de operación.

Las restricciones de manufactura están conformadas, en primer lugar, por las especificaciones de los proveedores de materiales (el diseño debe utilizar materiales de tamaños y propiedades especificadas, considerando su disponibilidad y precio) y en segundo

lugar, por 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.

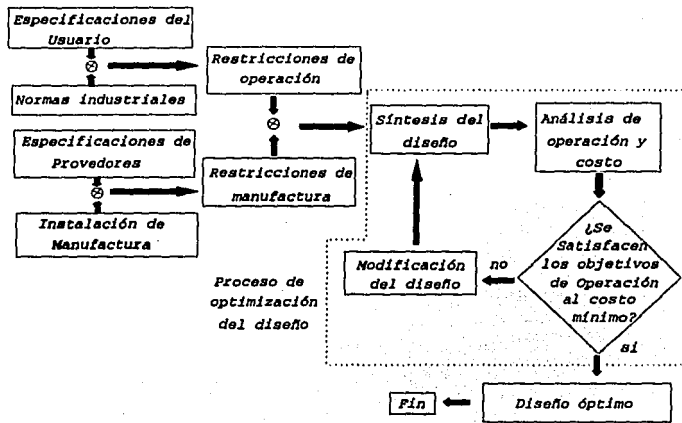


Diagrama (5.1) Proceso de diseño del motor de inducción

Con estos datos se 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 éste 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 generado 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^[7] 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 óptimo en un lapso de tiempo relativamente pequeño.

5.2 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO

El propósito de esta sección no es el profundizarse en cada uno de los pasos de diseño de los motores eléctricos de inducción, ya que éste es un tema bastante complejo y más bien forma parte de una especialidad.

Existen una gran cantidad de textos^[8] en donde se detallan, tanto los procedimientos seguidos para el diseño, así como las ecuaciones que deben ser evaluadas en cada caso.

A continuación se muestra el procedimiento general de diseño del motor de inducción monofásico.

^[7] 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.

^[8] Ver Referencias al final de la tesis.

5.2.1 METODOLOGIA 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 suele dividirse en los siguientes pasos.

- A) Dimensionamiento del estator.
- B) Dimensionamiento del rotor.
- C) Diseño del circuito eléctrico (diseño de devanados)
- D) Diseño del circuito magnético
- E) Determinación de las características de operación.

5.2.2 DIMENSIONAMIENTO DEL ESTATOR.

El diseño del motor de inducción monofásico generalmente se inicia con el cálculo del volumen de material magnético que utilizará la máquina, el cual está determinado por el diámetro externo de la laminación del estator (D) y de la longitud de su núcleo (L).

5.2.2.1 EL NUCLEO DEL ESTATOR

El núcleo del estator de los motores de inducción consiste de una serie de láminas circulares ranuradas, colocadas una a continuación de la otra hasta formar un paquete con la longitud (L) necesaria para proporcionar la potencia de salida que se requiera. Estas láminas tienen un espesor entre 0.47 y 0.64 mm., y una vez que han sido troqueladas, se someten a un proceso térmico de recocido, el cual tiene por objeto restablecer sus propiedades magnéticas y formar una capa aislante de óxido entre ellas, reduciéndose así, las pérdidas por corrientes parásitas y en general, las pérdidas en el núcleo. El conjunto de estas laminaciones apiladas constituyen *el núcleo del estator* del motor de inducción.

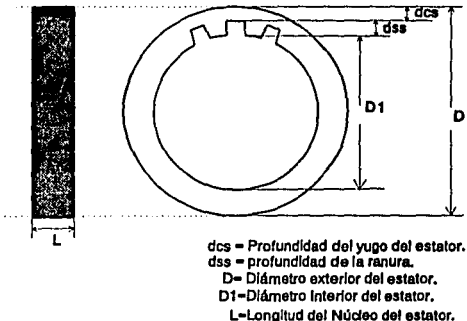


Fig. (5.1) Dimensiones generales de un estator sin carcasa.

5.2.2.2 CARCASA O ARMAZON.

El armazón del motor de inducción sirve como soporte mecánico del estator, ya que en él se encuentran alojadas las laminaciones que conforman el núcleo del estator, tiene forma cilíndrica y algunas variantes dependiendo de la potencia de la máquina.

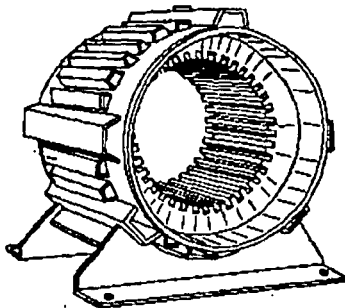


Fig (5.2) Laminaciones del núcleo del estator alojadas en una carcasa.

5.2.2.3 DIAMETRO EXTERNO DE LA LAMINACION DEL ESTATOR

El diámetro externo de la laminación del estator (D), generalmente se determina con objeto de seleccionar el tipo de armazón normalizado que corresponda según las tablas que se contemplan en la Norma Oficial Mexicana (NOM-J-75), a la potencia y velocidad deseadas en el diseño, por lo tanto se puede decir que el diámetro externo de la laminación del estator queda limitado por el tipo de carcasa. Además, hay que tomar en cuenta otros aspectos, como el espesor mismo de la carcasa, las aletas de radiación, los medios de sujeción del núcleo y el espesor de la base del motor. Sin embargo, se busca que el diámetro exterior de la laminación sea lo más grande posible que el armazón permita, ya que con esto se obtiene una mayor potencia de salida, mayor (D^2L), como se explica en seguida.

5.2.2.4 ECUACION DE SALIDA Y CANTIDAD DE MATERIAL MAGNETICO REQUERIDO.

P.H. Trickey^[9] después de hacer un estudio exhaustivo de las cantidades de material magnético utilizadas en un gran número de motores de inducción normalizados, encontró una relación (Ecuación de salida) según la cual el producto D^2L (volumen magnético) generalmente es proporcional al Par (Hp/rpm). De ésta relación, Trickey obtuvo una serie de curvas para motores de uso general. Posteriormente, Veinott^[10], dada la linealidad que mostraron las curvas de Trickey, encontró la siguiente Ecuación de salida para motores de 60 Hz:

$$D^2L = \frac{0.96}{(1-S)} [65\sqrt{P} (Hp)^m] \quad (5.1)$$

Donde :

S = Deslizamiento a plena carga.

P = Número de polos

m = 0.621 para 2 polos

0.585 para 4 polos

[9] P.H. TRICKEY, "Output of Induction Motors Depends On Total Active Material" (en: Product Eng., December, 1946) pp.47-62

[10] C.G. VEINOTT, Theory and Design of Small Induction Motors, 2nd.ed.(Mc Graw-Hill International; 1959) p.376

0.560 para 6 polos

0.538 para 8 polos

De ésta ecuación, se deduce que existen una serie de constantes para distintas clasificaciones y velocidades de motores. Dichas constantes se conocen con el nombre de "constantes de salida". Las constantes de salida pueden ser calculadas, o bien, ser consultadas en gráficas.

En la figura (5.3) se muestran las constantes de salida aproximadas (promedio) para motores de fase partida y de arranque con capacitor. Dichas constantes son aproximadas ya que solo proporcionan un punto de partida para iniciar un nuevo diseño.

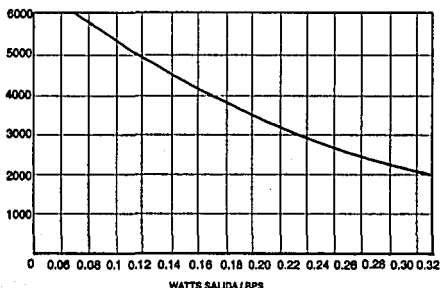


Fig (5.3) Constantes aproximadas de salida para motores de fase partida y de arranque con capacitor.

Conociendo el valor de la constante de salida se puede calcular fácilmente el producto D^2L . Es decir, se supone un valor ya sea del diámetro exterior del estator (D) o la longitud de su núcleo (L), y se calcula la otra dimensión. Cuando se tiene duda en cuanto a diámetro y longitud más adecuados para una potencia y velocidad, el único método satisfactorio es hacer cálculos preliminares para dos o más máquinas con diferentes dimensiones y escoger la de mejores características de operación para un costo razonable de construcción.

Por su parte, Kuhlmann^[11] establece la siguiente expresión para efectos de cálculo práctico en motores de inducción monofásicos:

$$C = \frac{D^2 L n_{mec}}{watts} \quad (5.2)$$

donde:

n_{mec} = Velocidad mecánica en rpm.

C = Constante típica de salida.

Las expresiones (5.1) y (5.2) se incluyen para mostrar la relación que guardan entre sí, la potencia de salida, el número de polos, la velocidad y el producto D^2L del motor, ya que las constantes C y m dependen del nivel de pérdidas del acero empleado. Este hecho debe tomarse en cuenta porque mientras mayor sea dicho nivel, el producto D^2L tendrá que ser proporcionalmente mayor. Lo anterior significa que para un mismo volumen de material magnético, se obtendrá más potencia de salida mientras menor sea el nivel de pérdidas en el acero utilizado.

5.2.2.5 DIAMETRO INTERNO DEL ESTATOR.

Conociendo el valor del diámetro externo del estator (D) y el número de polos del motor, se puede calcular el diámetro interior de las laminaciones del núcleo del estator (D_1). Dicha relación esta dada por la siguiente expresión empírica^[12]:

$$D_1 = \frac{D - 0.647}{1.175 + \frac{1.03}{P}} \quad (5.3)$$

donde:

D = Diámetro externo del estator.

D_1 = Diámetro interno del estator.

Los valores usuales de la relación entre diámetro interno del estator a diámetro externo (D_1/D), también suelen darse en tablas.

[11] J.H. KUHLMANN, *Diseño de Aparatos Eléctricos*. 6ta. ed. (C.E.C.S.A., 1977), p.405

[12] T.C. LLOYD, *Some Aspects of Electric Motor Design*, AIEE Trans., 1946, pp. 812-818.

Las consideraciones principales para seleccionar el diámetro interno del estator son:

- a) Ancho de ranura y yugo suficientes para tener un comportamiento adecuado.
- b) Espacio suficiente para acomodar cabezales y conexiones.
- c) Obtener un valor adecuado de amp-conductor para evitar elevaciones de temperatura y reactancias de dispersión altas y disponer de corriente y par de arranque adecuados.
- d) Tomar en consideración que si la medida del diámetro interno del estator está muy cercana a la correcta, aumentarla se traduciría en un aumento del factor de potencia y disminución de la eficiencia; y que por el contrario, disminuirla mejorará la eficiencia pero reducirá el factor de potencia.

Una vez conocido el diámetro interior del estator, se puede calcular la longitud del entrehierro.

5.2.2.6 LONGITUD DEL ENTREHIERRO.

La selección de la longitud del entrehierro merece un cuidado especial, aún cuando en ocasiones debe optarse por una solución intermedia entre el valor ideal y el que puede obtenerse realmente bajo las condiciones y tolerancias normales de fabricación.

Una longitud del entrehierro pequeña trae como consecuencia valores reducidos de corriente magnetizante, ya que se requerirán menor cantidad de amper-vueltas para hacer pasar el flujo magnético a través del mismo, así también, la eficiencia mejorará. Sin embargo un entrehierro aún más pequeño provocará que las reactancias de dispersión en Zig-Zag, de banda y por inclinación (Skew) aumenten, incrementando las pérdidas adicionales. Por otra parte, un entrehierro grande implica ciertas ventajas mecánicas, reduciéndose el riesgo de fricción entre el rotor y el estator, lo cual ayuda a disminuir el desbalanceo de las fuerzas magnéticas que tienden a desplazar al rotor.

Veinott⁽¹³⁾ menciona en su libro que para un diámetro interno de estator dado, la longitud mínima aproximada del entrehierro estará dada por la siguiente expresión empírica:

⁽¹³⁾ C.G. VEINOTT, *op.cit.*, p.383

$$g = 0.005 + \frac{0.0042 D_1}{\sqrt{P}} \quad (5.4)$$

donde:

P = Número de polos.

D1 = Diámetro interno del estator.

Como consideración adicional cabe mencionar que un incremento en el entrehierro puede ayudar a disminuir el ruido magnético al reducirse las pulsaciones de flujo en los dientes. Este incremento en el entrehierro significa en la generalidad de los casos, una reducción en la reactancia de dispersión, lo cual aumenta el par máximo; este aumento en el par máximo será desde luego a expensas de una mayor corriente de magnetización.

5.2.2.7 DETERMINACION DEL NUMERO DE RANURAS DEL ESTATOR.

Para seleccionar el número de ranuras del estator (S_1) de los motores monofásicos, la única restricción es que éste número de ranuras sea divisible entre el número de polos. Por lo tanto, conociendo el número de polos de la máquina se puede calcular el número de ranuras del estator.

A continuación se proporciona una tabla con las posibles combinaciones de ranuras para utilizar en el estator de motores monofásicos con 2,4,6 y 8 polos.

POLOS	NUMERO RANURAS DEL ESTATOR (S_1)
2	6 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66 72
4	12 24 36 48 60 72
6	18 36 54 72
8	24 48 72

Tabla (5.1) Combinaciones del número de ranuras del estator para motores monofásicos.

Es importante mencionar que mientras mayor sea el número de ranuras, menor será la reactancia de dispersión, lo cual permite aumentar el par máximo, la eficiencia, el factor de potencia y la potencia de salida.

Sin embargo, al aumentar el número de ranuras, éstas se vuelven más pequeñas y la sección de cobre que puede acomodarse dentro de ellas (factor de llenado) es proporcionalmente menor, lo cual limita el valor máximo que en la práctica puede utilizarse para un estator.

Otro factor que debe tomarse en cuenta es el hecho de que una laminación pueda usarse para más de una velocidad. Por ejemplo para 4 y 6 polos, lo cual dejaría el mínimo número de ranuras en 36.

En la práctica el número más pequeño de ranuras utilizado es de 24, aún para los diámetros interiores más reducidos, por lo que valores de 6, 12 y 18 ranuras en la tabla (5.1), pueden ser eliminados.

5.2.2.8 TIPOS DE RANURAS DEL ESTATOR.

Una vez elegido el número de ranuras del estator, deberá seleccionarse el tipo de estas. Las formas normalmente utilizadas para motores monofásicos son dos:

- 1.- Ranura semicerrada de fondo redondeado.
- 2.- Ranura semicerrada de fondo plano.

Las ranuras semicerradas por lo regular son trapezoidales con dientes de caras paralelas y pueden tener fondo redondeado o fondo plano. 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 del flujo. El tamaño de las ranuras del estator depende del número de conductores por ranura, del calibre del conductor, y del aislamiento.

Entre las dimensiones más críticas de este tipo de ranuras se encuentran: su abertura, profundidad y borde del diente. Un valor pequeño de la abertura de la ranura, dificultará la inserción de la bobina o incluso puede impedirla, mientras que un valor muy grande traería como consecuencia, un mayor número de armónicas en los bordes, aumento de la longitud del entrehierro y más pérdidas en la máquina. Por otra parte, un borde de diente muy grande

provocará una mayor reactancia de dispersión en la ranura. La figura (5.4) ilustra los tipos de ranuras de estator utilizados en los motores monofásicos de inducción.

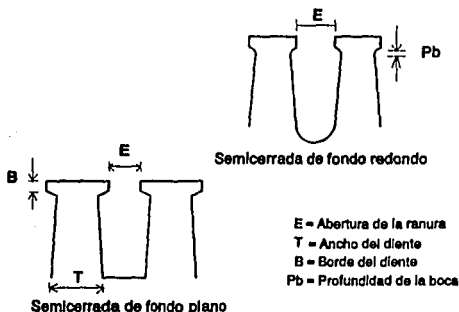


Fig (5.4) Ranuras utilizadas en el estator del motor de inducción monofásico.

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.

5.2.2.9 LAMINACIONES CON CONFIGURACIONES ESPECIALES

Hasta aquí, todas las laminaciones del estator que se han considerado tienen un diámetro externo redondo, con todas sus ranuras de tamaño y forma uniforme, e igualmente espaciadas, y teóricamente tienen una profundidad de yugo uniforme alrededor del núcleo. A este tipo de configuración se le llama "Troquelado redondo con núcleo de ranuras uniformes". Los métodos utilizados para unir las laminaciones y conformar la sección del núcleo consisten en usar soldadura, ponerles algún adhesivo epóxico o remacharlas. No obstante, los remaches tienen el efecto de incrementar tanto la corriente magnetizante así como las pérdidas en el núcleo. Además los huecos que se perforan para acomodar los pernos, en cierta manera incrementan la reluctancia del flujo magnético, el cual a su vez induce voltajes en los pernos, aumentando así, el nivel de pérdidas por corrientes parásitas.

Recientemente, y principalmente por razones de economía de manufactura, se han desarrollado algunas configuraciones especiales. A continuación se mencionan algunas de ellas.

a) *Troquelado cuadrado con ranuras inclinadas y anchas.*- Con éste tipo de configuración, debido a la inclinación interna que presentan las ranuras, se logra acortar la longitud total de los devanados al colocarlos en dichas ranuras, por lo que la resistencia, peso y costo de los mismos disminuye. Además, se incrementa el tamaño de la ranura misma, ganándose más espacio para la colocación de las espiras del devanado principal que es de mayor sección transversal que el auxiliar, figura (5.5 (a)). Otra ventaja que trae consigo la inclinación de las ranuras consiste en que se obtienen dientes más anchos, permitiendo así que el flujo pulsante producido por los devanados monofásicos circule sin problemas de saturación.

b) *Troquelado de redondeo-cuadrado con ranuras de fondo plano y curvo.*- En este tipo de configuración el yugo del estator, además de tener una profundidad considerable, es uniforme, ya que trata de seguir toda la periferia del núcleo. La mayor profundidad del yugo con respecto de las demás configuraciones hace que se tengan menos pérdidas. La uniformidad de la profundidad del núcleo se logra a expensas de diferentes tamaños y forma de las ranuras, figura (5.5 (b)). Por lo general, el devanado auxiliar requiere menos espacio que el devanado principal, por lo tanto el devando auxiliar (de menor sección transversal) puede ser colocado en las ranuras más angostas.

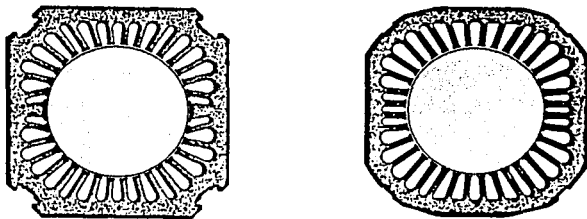


Fig (5.5a Y 5.5b) Configuraciones especiales de las laminaciones del estator en motores de inducción monofásicos.

5.2.2.10 DISEÑO DE LAS RANURAS DEL ESTATOR.

Con la previa selección de los diámetros exterior e interior del estator, número de ranuras a utilizar y tipo de las mismas, se calculan las dimensiones de cada parte de la ranura y dientes, para lo cual se recomienda hacer un dibujo a escala 1:1 de la laminación completa. La determinación de las dimensiones básicas para cada tipo de ranura (constantes de ranura) se presenta mediante fórmulas que son simples relaciones geométricas, en tanto que otras de carácter empírico fueron desarrolladas por Veinott^[14]. La eficacia de estas fórmulas, ha sido ampliamente demostrada en la práctica.

5.2.2.11. YUGO DEL ESTATOR.

La profundidad radial del yugo del estator está en función de su propia densidad de flujo máxima, de las dimensiones del estator y del 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 las densidades de flujo presentes en la máquina para cada modo de operación. En general a mayor número de polos, más flujo magnético es el que circula por los dientes, mientras que a menor número de polos es el yugo el que trabaja con una mayor densidad de flujo.

5.2.3 DIMENSIONAMIENTO DEL ROTOR.

El diseño del rotor es uno de los aspectos más importantes en el motor, pues representa un factor primordial para la operación durante el arranque y marcha normal.^[15]

El tipo de rotor más utilizado en los motores monofásicos de inducción es el llamado "Rotor Jaula de ardilla". El núcleo de éste tipo de rotor 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 laminaciones del estator,

[14] *Ibidem*, pp. 300-397

[15] 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.

y una vez troqueladas reciben el tratamiento térmico de recocido. Sobre la periferia de las laminaciones se disponen conductores (barras del rotor) que se encuentran conectadas entre sí por dos anillos de corto circuito para formar una estructura sólida. En algunos rotores las barras y anillos extremos están fundidos como una estructura integral única que se coloca en el núcleo.

5.2.3.1 DIAMETRO EXTERIOR DEL ROTOR.

El diámetro exterior de la laminación del rotor se establece al fijar previamente el diámetro interior del estator y la longitud del entrehierro, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$D_2 = D_1 - 2g \quad (5.5)$$

donde:

D_2 = Diámetro exterior del rotor.

D_1 = Diámetro interior del estator.

g = Longitud del entrehierro.

5.2.3.2 NUMERO DE RANURAS DEL ROTOR.

La elección del número de ranuras en el rotor 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.

Generalmente el número de ranuras del rotor se escoge a fin de obtener una operación silenciosa, un porcentaje normal de pérdidas, o poder incrementar el par máximo.

Existen muchos criterios encaminados a determinar el número exacto de ranuras para el rotor (S_2). Sin embargo, la mejor alternativa es utilizar las combinaciones posibles que en la práctica han dado buenos resultados a algunos diseñadores. A continuación se dan algunas de ellas.

Combinaciones de ranuras y recomendaciones prácticas.-

- Kuhlmann^[16] opina que el ruido y la vibración, se reducen considerablemente, si el número de ranuras se elige de tal forma que $(S_1 - S_2)$ no sea igual a ± 1 , ± 2 , $\pm(P \pm 1)$, ó $\pm(P \pm 2)$.

Para evitar puntos muertos de par o picos $(S_1 - S_2)$ no deberá ser igual a $\pm P$.

- Veinott^[17], reafirma las consideraciones anteriores y agrega que S_2 no debe ser igual o divisible entre S_1 .

Algunas recomendaciones para lograr la operación quieta del motor son:

- Que el número de ranuras del rotor sea divisible entre el número de pares de polos del flujo fundamental del entrehierro.
- S_2 debe ser diferente de S_1 por lo menos en un 20% .

Otras recomendaciones son:

- Para obtener una baja reactancia de dispersión, S_2 debe ser mayor que S_1 .
- Si se quiere reducir las pérdidas indeterminadas, S_2 debe ser menor que S_1 en un porcentaje del orden del 15% .
- Usar combinaciones que hayan dado buenos resultados en la práctica.

La tabla (5.2) muestra algunas combinaciones prácticas de S_2 dependiendo de S_1 para motores monofásicos.

^[16] J.H. KUHLMANN, *op.cit.*, p.402

^[17] C.G. VEINOTT, *op.cit.*, p.391

POLOS	S_1	S_2
2	12	17, 18, 28
	18	23
	24	17, 18, 29, 33, 36
	30	45
	32	25, 38
	36	28, 31, 45, 46, 47
	48	38, 57
4	12	28
	16	11, 19
	24	17, 20, 31, 34, 35
	32	38, 44
	36	28, 30, 44, 45, 48
	48	40, 57, 62
6	12	28
	24	18, 23, 34
	36	24, 27, 33, 42, 47
	48	36, 57, 60, 62
8	24	17, 30
	32	26, 39, 41
	48	62, 64

Tabla (5.2) Posibles combinaciones para seleccionar el número de ranuras del rotor S_2 , en base a S_1 , en motores monofásicos.

5.2.3.3 INCLINACIÓN DE LAS RANURAS DEL ROTOR.

Si no se quiere inducir voltajes indeseables en las barras del rotor para una armónica "n" de la onda de flujo del entrehierro, las ranuras del rotor deberán inclinarse, es decir, las ranuras deben pasar de un extremo del núcleo del rotor al otro extremo diagonalmente, en lugar de ir paralelas a la flecha. Por lo tanto, el inclinar las ranuras del rotor 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, aunque en la práctica es más común inclinar las ranuras de este último.

El ángulo de inclinación que se le debe dar a las ranuras, no está del todo estandarizado. Por ejemplo, Kuhlmann^[11] indica que al emplear ranuras diagonales, estas deben inclinarse aproximadamente a 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.

5.2.3.4 TIPOS DE RANURAS UTILIZADAS EN EL ROTOR.

Tanto la configuración geométrica de la ranura, la sección transversal de la barra y la conductividad del material de la misma, controlan la mayoría de las características de operación del motor, como lo son: (Corriente, par de arranque, par máximo, deslizamiento, pérdidas en el rotor, factor de potencia, eficiencia y elevación de temperatura.)

En el rotor del motor de inducción, el parámetro que generalmente se manipula para obtener las características de operación deseadas, es la profundidad de las ranuras. Pero, se debe tener en cuenta que al variar éste parámetro también cambiarán otras características del motor, como lo es la resistencia del rotor, por esta razón, si en un diseño se opta por alterar la profundidad de las ranuras, será necesario recalcular todos los parámetros del motor.

Al igual que en el estator, las dimensiones más críticas de las ranuras del rotor son: su abertura, ancho de diente y profundidad de la ranura. La abertura de la ranura se hace lo más pequeña posible con el objeto de reducir el ruido y la corriente magnetizante. En el caso de del ancho del diente, éste debe elegirse de tal forma que no cause problemas de saturación y mecánicos.

Los diferentes tipos de ranuras utilizadas en el rotor de los motores monofásicos de inducción son: a) Cerrada Trapezoidal, b) Semicerrada Trapezoidal, c) Cerrada Ovalada, d) Semicerrada ovalada y e) Semicerrada Redonda.

En la figura siguiente se muestran los diferentes tipos de ranuras utilizadas en el rotor de los motores de inducción.

[11] J.H. KUHLMANN, *op. cit.*, p.403

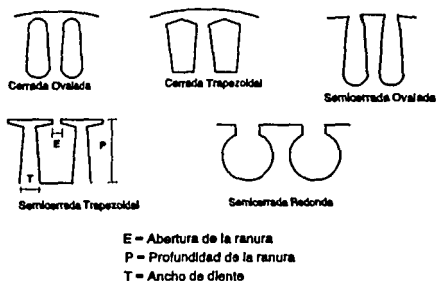


Fig. (5.6) Diferentes tipos de ranura utilizadas en el rotor del motor monofásico de inducción.

5.2.4 DISEÑO DEL CIRCUITO ELECTRICO (DISEÑO DE DEVANADOS)

Una vez establecidas las dimensiones y la geometría de las laminaciones del estator y del rotor, se procede a diseñar el circuito eléctrico del motor.

El circuito eléctrico del motor de inducción monofásico se compone de dos devanados independientes entre sí, uno en el estator (devanados principal y auxiliar) y el otro en el rotor (devanado jaula de ardilla).

En esta etapa de diseño deben calcularse características tales como: número de grupos número de bobinas por grupo, número de circuitos en paralelo, factores de paso y distribución, número de conductores en serie por fase y flujo por polo.

5.2.4.1 DEVANADOS DEL ESTATOR DEL MOTOR MONOFASICO DE INDUCCION.

Los arrollamientos principal y auxiliar del estator del motor monofásico de inducción, se devanan generalmente con bobinas concéntricas, usándose 3 o más bobinas por polo con igual o distinto número de espiras.

En este tipo de arrollamiento, cada bobina en cualquier grupo polar tiene un paso diferente. Pero los ejes de todas las bobinas de un grupo polar coinciden, o sea, las bobinas son concéntricas las unas con las otras. El paso de bobina se expresa como el número de ranuras incluido entre ambos costados de la bobina.

En la figura (5.7) se ilustra la forma de las bobinas concéntricas en los devanados monofásicos.

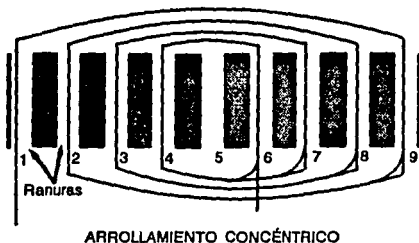


Fig (5.7) Bobinas concéntricas en devanados monofásicos.

El uso de devanados concéntricos en los motores monofásicos, se debe a la gran flexibilidad que presentan, permitiendo así utilizar, ya sea un número distinto de espiras o una mayor o menor cantidad de cobre según se requiera.

Al diseñar un devanado es necesario tener un punto de partida para lo cual se deben considerar los siguientes cálculos:

5.2.4.2 FACTOR DE PASO Y FACTOR DE DISTRIBUCION EN DEVANADOS CONCÉNTRICOS

Tomando en cuenta que los lados activos de cada una de las bobinas no siempre están colocados en las ranuras a un paso polar de distancia (180° eléctricos), es necesario determinar el *factor de paso* (K_p) de cada bobina, el cual está dado por la siguiente ecuación:

$$K_p = \text{sen} \left(\frac{\beta}{2} \right) \quad (5.6)$$

donde:

$\beta = (R/R_c)\pi$, igual al ángulo entre ranuras que contienen costados de bobinas adyacentes. (ángulo de paso).

R = Número de ranuras incluido entre ambos costados de la bobina.

R_c = Número de ranuras correspondientes a un paso completo.

Si la bobina es de paso completo:

$$\beta = 180^\circ$$

$$K_p = \text{Sen} (180^\circ/2) = 1$$

Si se desea calcular el factor de paso para la n'ésima armónica la expresión será:

$$K_{pn} = \text{sen} \left(n \frac{\beta}{2} \right) \quad (5.7)$$

Los voltajes que se inducen en cada una de las bobinas del devanado concéntrico no están en fase y por lo tanto no podrán sumarse algebraicamente sino vectorialmente. La relación de la suma vectorial de éstos voltajes (voltaje real) a la suma algebraica de los mismos (voltaje esperado), se llama *factor de distribución* (K_d) del devanado, dicho de otra manera, el factor de distribución evalúa el descenso de voltaje ocasionado por la distribución del devanado.

En devanados monofásicos el factor de distribución se calcula multiplicando el factor de paso de cada bobina por grupo polar, por el número de espiras en esa misma bobina y dividiendo la suma de estos productos entre el total del número de espiras.

La expresión que calcula el factor de distribución de un devanado concéntrico es:

$$K_d = \frac{C_1 \text{ sen } B_1 + C_2 \text{ sen } B_2 + \dots + C_l \text{ sen } B_l}{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_l} \quad (5.8)$$

donde:

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_i$ = Número de vueltas de cada bobina del devanado concéntrico.
 $B_1, B_2, B_3, \dots, B_i$ = $\beta_i/2$.

El valor del factor de distribución para diferentes distribuciones de arrollamientos concéntricos monofásicos, también puede ser consultado en tablas^[19].

5.2.4.3 NUMERO DE CONDUCTORES EN SERIE.

La suma ($C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i$) en la ecuación (5.8), representa la mitad del número de vueltas para un polo dado, por lo que el número total de conductores en serie C_{SP} es:

$$C_{SP} = 2P (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i) \quad (5.9)$$

Otros cálculos que deben ser tomados en cuenta al diseñar los devanados son:

El número de conductores por ranura, área neta de la ranura del estator y calibre del conductor, finalizando con la verificación del factor de llenado, el cual no debe exceder ni ser menor que el 75% y 65% respectivamente.

Una vez establecidos los parámetros anteriores, es conveniente calcular el *flujo por polo* que genera el devanado, ya que dicho valor es tomado en cuenta para los cálculos del circuito magnético:

$$\phi = \frac{45 E \times 10^6}{f C_{SP} K_d} \quad (5.10)$$

donde:

E = 0.97 del voltaje de fase a tierra.
 f = frecuencia.
 C_{SP} = No. Conductores en serie por fase.
 K_d = Factor de distribución del devanado.

[19] C.G. VEINOTT, *Op.cit.*, p.271

Una vez realizados los cálculos anteriores, se procede a diseñar las características propias de cada uno de los devanados principal y auxiliar en forma independiente.

5.2.4.4 DISEÑO DE LOS DEVANADOS PRINCIPAL Y AUXILIAR.

En los motores monofásicos fraccionales, solo las 2/3 partes del total de las ranuras se devanan, ya que el rebasar este número conduce a un factor de distribución muy reducido y por consiguiente a una mala utilización de la máquina. Las ranuras se reparten entre los devanados auxiliar y principal para mejorar la forma de onda y en varios aspectos las características de funcionamiento, el número de conductores por ranura de uno y otro devanado suele variar en determinadas proporciones de ranura en ranura. En algunas ocasiones el devanado principal deja ranuras vacías debido a su factor de distribución, estas ranuras desde luego pueden ser ocupadas por el devanado auxiliar y a veces éste llena también parte de las ranuras del devanado principal.

El cálculo del devanado auxiliar para los motores de fase partida se hace en base a la consideración de que éste devanado debe producir, como se dijo, un flujo que se encuentre defasado respecto del flujo producido por el devanado principal. Por su parte, el número de espiras del devanado principal deberá satisfacer los requerimientos del núcleo, mientras que el tamaño del conductor deberá hacer lo propio con los requerimientos de la corriente de carga.

El procedimiento que se sigue para diseñar cada uno de los devanados en forma independiente es el mismo^[20], y se basa en los siguientes cálculos:

Longitud media del conductor (LMC).- Se calcula conociendo el ángulo de paso de cada bobina en número de ranuras, así como el número de vueltas por bobina y diámetro medio de las ranuras del estator.

El cálculo de la resistencia por fase a la temperatura de 25°C, es el valor de la *resistencia del primario* R_1 (resistencia del estator), y se calcula con base en los valores siguientes: resistencia del conductor por cada 1000 pies de longitud, número de hilos usados y diámetro del conductor desnudo. La *resistencia en frío* (R_f) es otro valor que debe calcularse. También se calcula el *peso del cobre utilizado* (W_c) y la *resistencia a la temperatura normal de operación*, al igual que el *número de conductores efectivos en serie* (CFE).

^[20] *ibidem*, pp. 399-425

5.2.4.5 CIRCUITO ELECTRICO DEL ROTOR.

Como se mencionó, el circuito eléctrico del rotor consiste en una jaula de ardilla. Debido a que la tensión inducida en cada barra cuando el rotor está en reposo escasamente alcanza los 10 volts, generalmente no es necesario aislar las barras del rotor.

En los rotores jaula de ardilla, las barras bajo cada polo se encuentran conectadas en paralelo y las corrientes bajo polos contiguos circulan en direcciones opuestas. La figura (5.8) representa la distribución de las corrientes en las barras y los anillos de corto circuito del rotor en jaula de ardilla.

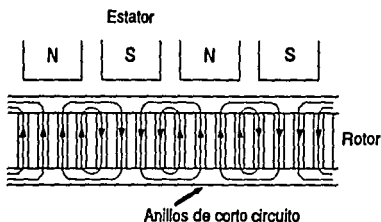


Fig (5.8) Distribución de corrientes en el rotor de un motor de inducción.

Para evitar ruidos magnéticos y pulsaciones excesivas del flujo en el entrehierro, la relación del número de ranuras de estator y rotor, deberá, siempre que sea posible, quedar dentro de los límites dados en la sección 5.2.2.2

Kuhlmann^[21] opina que para devanados de jaula de ardilla, la densidad de corriente puede ser mayor que para los devanados del estator, ya que la espira media es más corta y la ventilación es mayor. Así también, la sección total de cobre en el rotor debe escogerse 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 acorde con los requerimientos del par de arranque. Esto es generalmente de 50% a 80% de la sección total del cobre del estator

^[21] *ibidem*, p.364

5.2.4.6 YUGO DEL ROTOR

Debido a que por el circuito del rotor circula menos flujo magnético que en el del estator, la longitud del yugo del rotor puede ser más pequeña. Veinott recomienda que la longitud del yugo del rotor sea un 95% de la longitud del yugo del estator

5.2.4.7 CORRIENTE DE MAGNETIZACION

Los devanados principal y auxiliar deben producir la Fmm total necesaria para magnetizar a la máquina. Dicha Fmm es producida por la *corriente de magnetización*, que es la corriente requerida para establecer el flujo en las partes magnéticas del motor. Por lo tanto la corriente de magnetización está ligada tanto con el diseño de los devanados así como con los cálculos del circuito magnético. En el motor monofásico la corriente de magnetización está dada por:

$$I_m = (\text{AMP-VUELTAS POR POLO}) \frac{P K_m}{C_{SFP} K_d} \quad (5.11)$$

donde:

C_{SFP} = Número de conductores totales en serie.

K_m = Factor de proporcionalidad (2.82 para motores monofásicos).

K_d = Factor de distribución del devanado.

Los Amper-Vuelta por polo que aparecen en la ec.(5.11) se obtienen al calcular el circuito magnético del motor. El procedimiento para realizar dicho cálculo se presenta a continuación.

5.2.5 DISEÑO DEL CIRCUITO MAGNETICO.

5.2.5.1 PARTES DEL CIRCUITO MAGNETICO DEL MOTOR DE INDUCCION.

El circuito magnético del motor de inducción, es aquél que proporciona la trayectoria para que circule el flujo magnético útil de la máquina y consta de las siguientes partes:

- a - Yugo del estator.
- b - Dientes del estator.

- c - Entrehierro.
- d - Dientes del rotor
- e - Yugo del rotor.

En la figura (5.9) se muestra el circuito magnético de un motor de inducción de cuatro polos. Como se observa, la trayectoria del flujo magnético se inicia en el yugo del estator y pasa a sus dientes, cruza el entrehierro y pasa a los dientes y yugo del rotor. En éste punto el flujo por polo se divide en dos, cerrando el circuito a través del retorno a los dientes del rotor, entrehierro, dientes y yugo del estator de los polos adyacentes.

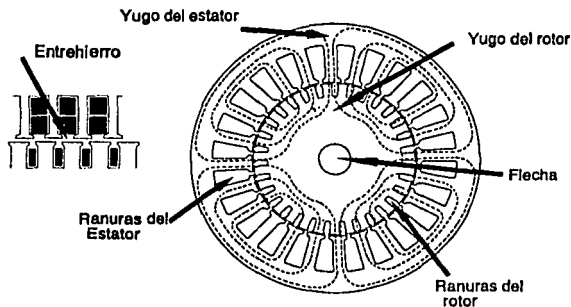


Fig (5.9) Circuito magnético de un motor de inducción.

5.2.5.2 CALCULO DEL CIRCUITO MAGNETICO.

El problema que se plantea durante el estudio de este circuito es, en resumen, determinar los Amper-vueltas totales requeridos en el estator de la máquina para hacer circular el flujo magnético a través de cada una de las partes que conforman el circuito magnético del motor. El procedimiento usual es estimar la densidad de flujo B para cada parte del circuito magnético, consultar en la curva de inducción (curva B-H) del material los Amper-Vueltas/metro correspondientes a dicha densidad de flujo y multiplicarlos por la longitud efectiva de la trayectoria magnética. Finalmente se suman todas las componentes de F_{mm} para obtener los Amper-Vueltas totales del circuito.

Las curvas de inducción de los materiales utilizados se obtienen con base en las pruebas normalizadas Epstein^[22], las cuales tienen como objetivo determinar las propiedades magnéticas intrínsecas de los materiales magnéticos. En la figura (5.10) se muestra una curva de inducción típica.

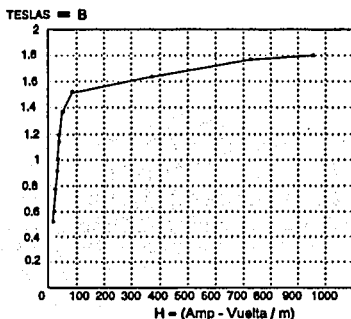


Fig. (5.10) Curva (B-H) del acero empleado en un motor de inducción.

La mayor parte de la Fmm generada en el estator es utilizada para enviar el flujo a través del entrehierro debido a la mayor reluctancia que presenta éste con respecto de las otras partes del circuito magnético. A continuación se presentan los cálculos necesarios para obtener los Amper-vueltas para el entrehierro.

5.2.5.3 AMPER-VUeltas PARA EL ENTREHIERRO.

Una vez que se ha asignado al entrehierro una determinada distancia g (diseño del estator), se deben calcular los Amper-vueltas que éste requiere en condiciones normales de operación.

Los Amper-vueltas por polo que requiere un estator para enviar el flujo a través del entrehierro en los motores monofásicos están dados por la siguiente expresión:

[22] M.G. SAY, Design of Alternating Current Machines. (Londres; Pitman Press 1939) pp. 175-177.

$$AV_g = 313 g_s B_g \quad (5.13)$$

donde:

g_s = Longitud efectiva en el entrehierro.

B_g = Densidad de flujo en el entrehierro.

5.2.5.4. LONGITUD EFECTIVA DEL ENTREHIERRO (g_s).

La abertura de las ranuras del estator y del rotor, aumenta la reluctancia del entrehierro. Su efecto podrá tomarse en cuenta, al suponer que la sección del entrehierro se reduce una cierta cantidad, lo que aumentará la densidad, o suponer que las aberturas de las ranuras son equivalentes a una longitud aumentada del entrehierro. Uno de los primeros en estudiar este efecto fue W. Carter^[23], por lo que al factor que expresa dicho incremento de la reluctancia se le conoce como "Factor de Carter".

Como el rotor y el estator están ranurados, se debe encontrar el factor de Carter para ambos lados.

El factor de Carter para las ranuras del estator es:

$$K_1 = \frac{\lambda_1 (5g_s + W_s)}{\lambda_1 (5g_s + W_s) - W_s^2} \quad (5.13)$$

y para las ranuras del rotor es:

$$K_2 = \frac{\lambda_2 (5g_r + W_r)}{\lambda_2 (5g_r + W_r) - W_r^2} \quad (5.14)$$

donde:

K_1 = Factor de Carter para las ranuras del estator.

K_2 = Factor de Carter para las ranuras del rotor.

W_s = Abertura de las ranuras del estator.

W_r = Abertura de las ranuras del rotor.

λ_1 = Paso del diente del estator.

λ_2 = Paso del diente del rotor.

g = Longitud del entrehierro.

[23] ELECTRICAL WORLD. Vol 38, 1901. p.884

Por lo que el factor de Carter total del entrehierro es:

$$K_g = K_1 K_2 \quad (5.15)$$

Otro factor que afecta la longitud del entrehierro es el llamado "Factor de Saturación", el cual toma en consideración que la permeabilidad del acero empleado es finita, mostrando que la mayor parte de los Amper-vueltas de excitación son usados en el entrehierro. El factor de saturación se define como:

$$K_s = \frac{\Sigma (\text{Amp-Vueltas})}{AV_g} \quad (5.16)$$

Finalmente, la longitud efectiva del entrehierro está relacionada con su longitud física o radial por la siguiente expresión:

$$g_e = K_s K_g g \quad (5.18)$$

5.2.5.5 AMPERE-VUeltas TOTALES POR POLO

Para calcular la densidad de flujo y los Amper-vueltas totales en cada una de las partes restantes que conforman el circuito magnético, se sigue el procedimiento descrito en la sección 5.2.5.2. En las tablas (5.3 (a) y 5.3 (b))¹²⁴ se muestran, respectivamente, la tabulación de dimensiones y las fórmulas para calcular la Fmm de las partes restantes del circuito magnético.

Finalmente los Amper-Vueltas totales se obtienen de la sumatoria de cada una de las Fmm's individuales de cada parte del circuito magnético, esto es:

$$\text{AMP-VUeltas}_{TOT} = AV_g + AV_{Ys} + AV_{YR} + AV_{DS} + AV_{DR} \quad (5.18)$$

donde:

AV_{TOT} = Amper-Vueltas Totales por Polo.

AV_{Ys} = Amper-Vueltas por polo del yugo del estator.

AV_{YR} = Amper-Vueltas por polo del yugo del rotor.

AV_{DS} = Amper-Vueltas por polo de los dientes del estator.

AV_{DR} = Amper-Vueltas por polo de los dientes del rotor.

¹²⁴C.G. VEINOTT, *op. cit.*, p.397

DESCRIPCION	ESTATOR	ROTOR
Diámetro exterior	D	D ₂
Diámetro interior	D ₁	
Longitud del núcleo	L	
No. de ranuras	S ₁	S ₂
Paso del diente	$\lambda_1 = \pi D_1 / S_1$	$\lambda_2 = \pi D_2 / S_2$
Cara del diente	$t_1 = \lambda_1 - W_1$	$t_2 = \lambda_2 - W_2$
Ancho efectivo del diente	t _{1e}	t _{2e}
Profundidad efectiva del yugo	d _{1e}	d _{2e}
Factor de Karter	$K_1 = \frac{\lambda_1 (5g + W_1)}{\lambda_1 (5g + W_1) - W_1^2}$	$K_2 = \frac{\lambda_2 (5g + W_2)}{\lambda_2 (5g + W_2) - W_2^2}$
Factor de entrehierro	$K_g = K_1 \times K_2$	
Paso polar	$\lambda_p = \pi (D_2 + g) / P$	
Apertura de ranura	W ₁	W ₂
Entrehierro	g	
Factor de apilamiento	F	

PORCION	AREA	DENSIDAD DE FLUJO	LONG. DE LA TRAYECTORIA	AMP.-VUELTA POR PULG.
NUCLEO DE ESTATOR	$A_{y1} = 2FL d_{y1}$	$B_{y1} = \frac{\phi}{\text{area}}$	$L_{y1} = \frac{\pi(D - d_{y1})}{2P}$	de la curva
DIENTES ESTATOR	$A_{d1} = \frac{FL S_1 t_{1e}}{P}$	$B_{d1} = \frac{\phi}{0.637 \times \text{area}}$	⁽¹⁾ $L_{d1} = d_1 - a/4$ ⁽²⁾ $L_{d1} = d_1$	de la curva
NUCLEO ROTOR	$A_{y2} = 2FL d_{y2}$	$B_{y2} = \frac{\phi K_2}{\text{area}}$	$L_{y2} = \frac{\pi(D_2 + d_{y2})}{2P}$	de la curva
DIENTES ROTOR	$A_{d2} = \frac{FL S_2 t_{2e}}{P}$	$B_{d2} = \frac{\phi K_2}{0.637 \times \text{area}}$	⁽¹⁾ L _{d2}	de la curva
ENTRE-HIERRO	$A_g = L \lambda_p$	$B_g = \frac{\phi K_g}{0.637 \times \text{area}}$	$g_e = K g$	de la curva

Haciendo referencia a la tabla anterior:

En forma práctica el factor $K_c \approx (1 - P/100)$, inicialmente.

Factor de Saturación $= K_s = (\text{Amper-Vueltas totales}) / (313 g_e B_g)$

(1) Aplicable a ranuras de fondo redondeado.

(2) Aplicable a ranuras de fondo plano.

(3) L_{12} es:

Para ranuras trapezoidales, $L_{12} = d_{1r} - d_{2r}$
 Para ranuras ovaladas, $L_{12} = d_{1r} - d_{2r} - 0.1(a_{1r})$
 Para ranuras circulares, $L_{12} = a_{1r} / 3$

Dimensiones en pulgadas (plg), densidades de flujo en kilolíneas/plg²

5.2.6 DETERMINACION DE LAS CARACTERÍSTICAS FINALES

En ésta parte del diseño deben obtenerse los 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 repetirse, alterando algunos de sus parámetros.

Para calcular las características finales del motor, es necesario partir del circuito equivalente de Steinmetz.^[25] Los parámetros principales del circuito equivalente que deben ser evaluados para conocer el comportamiento del motor son: las reactancias, las resistencias, así como las pérdidas.

5.2.6.1 REACTANCIA DE DISPERSION.

La reactancia de dispersión se define como aquella que es generada por los flujos dispersos en la máquina. Esta reactancia es uno de los factores más importantes a considerar en el diseño del motor de inducción, pues el par máximo está en función de éste parámetro.

^[25] P.L. ALGER, "Induction Motors Performance Calculations", (en: A.I.E.E. Trans., Vol.49, Julio 1930) pp.1055-1093
 C.G. VEINOTT, "Performance Calculations on Induction Motors", (en: A.I.E.E. Trans., Vol.51, Septiembre 1932) pp.793-812

Para calcular la reactancia de dispersión de cualquier devanado, se calcula primero el flujo disperso por unidad de corriente que fluye en el embobinado, lo cual es igual a la F_{mm} que actúa en la trayectoria de dispersión^[26] multiplicado por la permeancia de dicha trayectoria. El flujo por unidad de corriente multiplicado por el número de espiras con las que está eslabonada, da la inductancia L y la reactancia será $2\pi fL$.

5.2.6.2 COMPONENTES DE LA REACTANCIA TOTAL DE DISPERSION

En los motores de inducción jaula de ardilla se acostumbra dividir la reactancia dispersa total en:

- Reactancia de dispersión en las ranuras (estator y rotor).
- Reactancia de dispersión diferencial
- Reactancia de dispersión en cabezales
- Reactancia de dispersión por inclinación de ranuras (Skew).

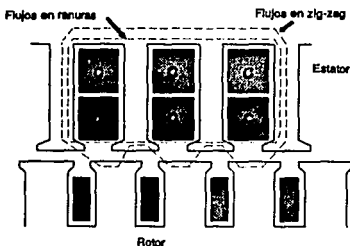


Fig (5.11) Flujos de dispersión en una máquina de inducción.

Reactancia de Dispersión en Ranuras.- Se debe a los flujos dispersos que cruzan y rodean las ranuras, los cuales son creados por los conductores alojados en las mismas.

Las reactancias generadas por la trayectoria de éstos flujos son:

^[26] Para los cálculos de la reactancia de dispersión, se supone que el flujo disperso fluye en trayectorias definidas para las cuales puede calcularse área y longitud.

- a) La generada por el flujo que atraviesa 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 atraviesa por la parte superior de los conductores rodeando todos ellos.
- d) La generada por el flujo que atraviesa el cuerpo de la ranura y rodea solo una parte de los conductores.

En la figura (5.12) se muestran las trayectorias del flujo de dispersión en una ranura con conductores.

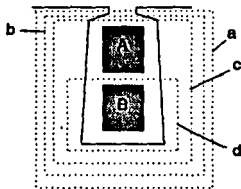


Fig (5.12) Flujos de dispersión alrededor de una ranura.

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, el cual deberá tomarse en cuenta.

Reactancia de dispersión diferencial.- Debido a la distribución de los devanados en un número de ranura definido, la circulación de corrientes produce distribuciones de flujo en el entrehierro no senoidales, ocasionando que se produzcan una serie de armónicos que inducen tensiones en los devanados y, por consiguiente, contribuyen a la reactancia de los mismos.

La reactancia total debida a éstos armónicos es conocida como "reactancia de dispersión diferencial", que a su vez está compuesta por:

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

La reactancia de dispersión de Zig-Zag se diferencia de la reactancia de banda, en que los armónicos 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.

Reactancia de dispersión en los cabezales.- Esta reactancia es producida por el flujo disperso en los cabezales de los devanados, ver figura (5.8). El valor de la misma depende de la forma de las bobinas, de la proximidad con otros materiales magnéticos y varios factores que dependen de la manufactura del motor.

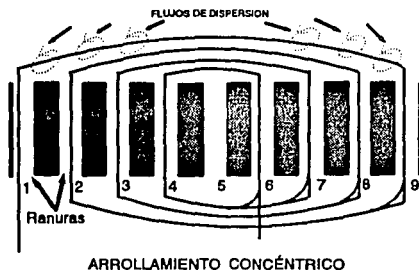


Fig (5.13) Flujo de dispersión en los cabezales de una bobina.

Reactancia de dispersión por inclinación de las ranuras (Skew).- El diseñar un motor de inducción con ranuras inclinadas es una técnica que ayuda a eliminar algunos componentes armónicos de la onda de densidad de flujo^[27]. Sin embargo, ésta acción provoca un

[27] G. MC PHERSON, *Introducción a las Máquinas Eléctricas y Transformadores*. Iera.ed. (Limusa;1987) p.584

incremento en la reactancia total de la máquina, dando lugar a una componente adicional de la reactancia diferencial.

5.2.6.3 RESISTENCIAS PRIMARIA Y SECUNDARIA.

La resistencia del estator (primaria) y la resistencia del rotor (secundaria), son otras dos constantes básicas que deben ser evaluadas para determinar las corrientes, las pérdidas y el par del motor.

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 la resistencia del rotor, ésta tiene que expresarse en términos del devanado principal (primario) para que pueda ser usada en el circuito equivalente. El procedimiento que se sigue para ello es el siguiente:

- 1.- Se supone un valor de corriente circulando en cada barra.
- 2.- Con base en la corriente supuesta se calculan las pérdidas I^2R en todas las barras.
- 3.- Las corrientes en los anillos de corto circuito se evalúan sumando las corrientes en las barras a la mitad de un paso polar.
- 4.- Se calculan las pérdidas I^2R en los anillos de corto circuito y se suman a las de las barras, obteniéndose así las pérdidas totales del rotor.
- 5.- La F_{mm} del rotor se calcula expresándola en términos de la corriente de una barra y se iguala a la F_{mm} del estator en términos de la corriente primaria; estableciéndose así una relación entre las corrientes de las barras del rotor y las corrientes del estator.
- 6.- Finalmente, las pérdidas totales I^2R del rotor se expresan en términos de la corriente primaria.

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 vista de lo anterior es recomendable, según Trickey^[21], utilizar un ancho de anillo que no exceda el tamaño del paso polar (la mitad del paso polar es suficiente).

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: **efecto de ranura profunda** y ocasiona que la corriente circule preferentemente 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).

5.2.6.4 PERDIDAS

Pérdidas en el núcleo.- Las pérdidas en el núcleo, para motores de inducción se componen de las de histéresis y las parásitas en dientes y yugos correspondientes a la frecuencia fundamental, más las pérdidas adicionales. Las pérdidas en el núcleo se calculan con base en una serie de curvas, que las presentan en función de la densidad de flujo para una cierta frecuencia y espesor de la laminación definido. Estas curvas (Curvas de inducción de pérdidas específicas) se determinan experimentalmente por el método de prueba Epstein^[21].

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

Pérdidas 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 como un porcentaje de la potencia de

[21] P.H. TRICKEY, "Induction Motor resistance Ring width", (en: *A.I.E.E. Trans.*, vol.55, Febrero, 1936) P.144

[21] M.G. SAY, *op.cit.*

salida^[30]; 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.

Pérdidas Adicionales en el núcleo.- Las pérdidas adicionales (indeterminadas) comprenden las superficiales en los dientes, debido a variaciones en la densidad del entrehierro, pérdidas debidas a rebabas en las ranuras y pérdidas en elementos mecánicos. En términos generales las pérdidas adicionales en el núcleo son difíciles de calcular y es más conveniente estimarlas con base en pruebas de motores similares. Por ejemplo Kuhlmann^[31] recomienda que se estimen de 1.75 a 2.2 veces la suma de las pérdidas en el yugo y los dientes.

5.2.6.5 RESOLUCION DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

El circuito equivalente debe resolverse para tres condiciones:

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

5.2.6.6 ELEVACION DE TEMPERATURA

La potencia de salida continua 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.

^[30] J.H KUHLMANN, *op.cit.*, p.373

^[31] *ibidem.*, p.375

Si la temperatura no es controlada, se producen efectos tales como: deterioro de los aislamientos y aumento en la resistividad del cobre, ocasionando aumento en las pérdidas, además, las diferencias térmicas entre 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.

5.2.6.7 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. 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 al mismo tiempo. A continuación se mencionan algunos ejemplar 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; sucediendo lo mismo 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 la longitud del 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 máquina y dificultades en el par de arranque.

CAPITULO 6

Desarrollo y Estructura del Tutorial

6.1 DESARROLLO DEL TUTORIAL.

Conjuntamente con los capítulos anteriores se desarrolló la primera parte de un curso tutorial por computadora, aplicable al aprendizaje del diseño de motores de inducción monofásicos, utilizando la tecnología multimedia. Como se mencionó en la introducción, ésta primera etapa se incluye en un proyecto del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), y en ella se presentan las bases y principios fundamentales que se requieren para comprender el proceso de diseño de un motor de inducción monofásico.

6.2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA CREACION DEL TUTORIAL

6.2.1 HARDWARE UTILIZADO

El desarrollo adecuado de una presentación multimedia, depende enormemente del hardware utilizado para construirla. A continuación se presentan las características principales del hardware que se utilizó para elaborar el tutorial.

COMPUTADORA

La computadora en la que se instaló el software para crear el tutorial, tiene las siguientes características:

- CPU 486 DX.
- Velocidad de 40 Mhz.
- Monitor Super VGA.
- Memoria Ram de 8 Mb.
- Disco duro de 180 Mb.

CD-ROM Y TARJETA DE SONIDO

Un CD-ROM, y una Tarjeta de Sonido, permitieron utilizar el software que se tenía disponible para incluir sonido en el tutorial. Las características de éstas dos herramientas son:

- 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 Sonido.

- 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

SCANNER

El dispositivo que permitió capturar la mayoría de las imágenes que aparecen en el tutorial fue el *scanner*. Las características del mismo son:

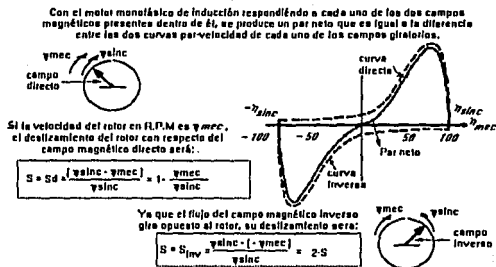
- Scanner tipo plano Hewlett Packard.
- Modelo Scan Jet II.
- Soporte de imágenes a color (capacidad de millones de colores).
- Soporte de imágenes en blanco y negro (256 tonos de grises).

6.2.2 SOFTWARE UTILIZADO

El hardware utilizado no hubiera sido útil sin la ayuda de los diversos paquetes de software que permitieron manipular y editar adecuadamente todos los elementos que le dieron vida al tutorial (texto, voz, música, imágenes, y animaciones)^[32]. La utilización de dichos paquetes en el desarrollo del curso tutorial se describe en seguida.

LOS TEXTOS DEL TUTORIAL.-

La mayor parte de la información escrita que aparece en el tutorial, fué generada con el editor de textos del programa para edición de presentaciones multimedia "Authorware"^[33]; dicho editor permitió dar ubicación, coloración y tipo de letra, al texto escrito, esto permitió darle una mejor vista a la presentación de las pantallas del tutorial.



[32] Las imágenes de vídeo, no se hacen presentes en el tutorial, debido a que no se contó con una tarjeta de vídeo, la cual nos hubiese permitido la captura y edición del mismo.

[33] Authorware es el programa para edición de presentaciones multimedia que se utilizó para elaborar el tutorial. De dicho paquete se hablará con más detenimiento, en las páginas siguientes de éste capítulo.

Otra de las ventajas que se aprovecharon de Authorware, fué la facilidad que éste dió para importar y editar documentos que se encontraban escritos en el editor de textos profesional Word Perfect 5.1, los cuales contenían información que se consideró importante para ser incluida en el tutorial.

DIGITALIZACION DE LAS IMAGENES.-

La captura de imágenes, fotografías y dibujos, y la visualización de éstas en la pantalla de la computadora, con formatos compatibles para editarlos y poder exportarlos hacia el tutorial, fue posible con la ayuda del software para digitalización de imágenes deskscan II, cuya pantalla de captura y edición de imágenes se muestra en la figura (6.2).

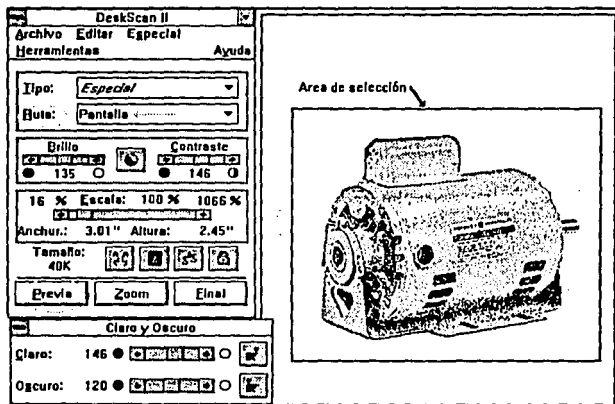


Fig.(6.2) Pantalla del software para scanner

El procedimiento mediante el cual se lograron los mejores resultados en la digitalización de las imágenes incluidas en el tutorial, es el siguiente:

Inicialmente, dentro del software de digitalización (en el submenú marcado como *ruta*) se selecciona la presentación final de la imagen con la opción *pantalla*¹³⁴. Dentro del menú especial, se selecciona el submenú *Tipo de imagen*, dando como resultado la presentación del cuadro de diálogo mostrado en la figura (6.3). Una vez dentro del cuadro, se selecciona el tipo de imagen a digitalizar, y para obtener mejores resultados se elije la opción *extra-densa* del menú *acentuación*. Una vez de regreso en la pantalla original, fig.(6.2), se selecciona, con el mouse, el área de la imagen en la pantalla a digitalizar, y cuando se tiene perfectamente delimitada, se presiona el botón *Final* para guardar la imagen. Hay que mencionar que la extensión con la que eran guardadas las imágenes dependía del programa que se iba a utilizar para editarlas, así por ejemplo, si la imagen iba a ser editada con paintbrush, ésta se guardaba con formatos *.BMP* o *.PCX*.

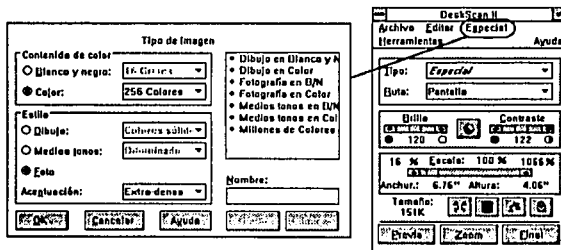


Fig.(6.3) Cuadro de diálogo para seleccionar el tipo de imagen, dentro del software del scanner.

EDICION DE LAS IMAGENES.-

Para editar las imágenes del tutorial se utilizaron los siguientes paquetes:

Paintbrush (programa incluido en el grupo de accesorios de windows 3.1).

Aldus Photostyler (programa profesional para edición de imágenes).

¹³⁴ Se seleccionó la salida "pantalla" debido a que la presentación final de la imagen digitalizada se iba a mostrar en las pantallas de la computadora en donde se tiene el tutorial.

Paintbrush, con su capacidad de manejar los detalles de las imágenes a nivel pixel, fue de gran ayuda para retocar los dibujos y fotografías que se digitalizaron, también ayudó a generar imágenes con formato de mapa de bits, permitiendo así la exportación inmediata de éstas hacia el programa de edición principal (Authorware). Una de las herramientas de *paintbrush* que más se utilizó fue la de *recorte de objetos*, con ésta opción fue posible dividir en secciones las imágenes digitalizadas y crear archivos independientes que correspondían a cada una de éstas. Un ejemplo de esto se realizó con el despiece de un motor monofásico; primeramente se digitalizó el dibujo del motor con la mayoría de sus partes incluidas, figura (6.4), en seguida se procedió a recortar e iluminar cada una de estas partes (con el mismo *paintbrush*) y se manejaron como archivos separados, uniéndose finalmente dentro del programa de edición principal (Authorware), el cual se encargo de darles animación para simular el despiece.

Aldus photostyler es un paquete profesional que permitió hacer modificaciones a las imágenes que fueron digitalizadas o generadas por algún otro medio. Aunque Aldus photostyler presenta una gran cantidad de características que pueden ser utilizadas para la edición de imágenes, para editar las fotografías del tutorial sólo se utilizaron algunas de ellas. Por ejemplo, con *photostyler* fue posible retocar las fotografías que se digitalizaron haciéndoles ajustes de brillo, contraste, tamaño, resolución, etc., ver figura (6.5).

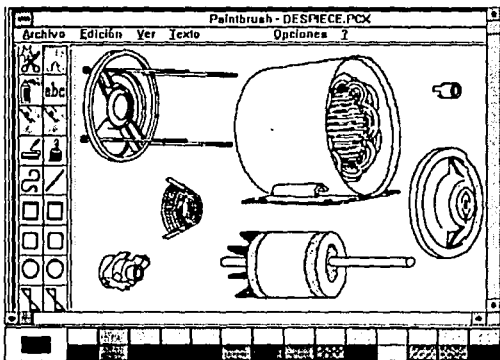


Fig.(6.4) Pantalla de trabajo de Paintbrush.

Otra de las características que ofrece photostailer es la de *rotación de imágenes*. Esta opción sirvió para alinear imágenes que por algún motivo no quedaban en la posición deseada dentro del tutorial.

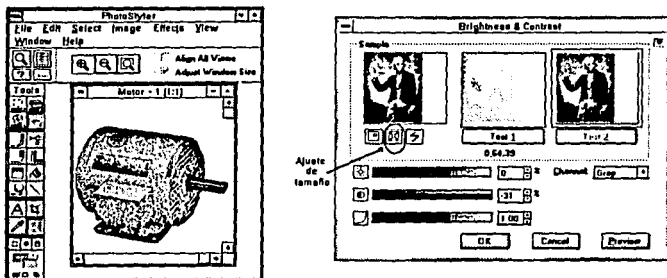


Fig (6.5). A la izquierda, Pantalla de trabajo de Photostyler.
A la derecha, cuadro para ajuste de brillo y contraste.

CAPTURA DE LAS PANTALLAS.-

El software para captura de pantallas permitió convertir el contenido de lo que se visualizaba en el monitor de la computadora, a un archivo con formato de mapa de bits que podía imprimirse, o bien podía ser importado por Authorware, previa edición del mismo.

Para capturar algunas de las pantallas que aparecen en el tutorial se utilizaron dos paquetes, el primero y más sencillo, es la utilidad que windows 3.1 ofrece; esto es, utilizando la tecla *print screen*. Al presionar dicha tecla (dentro del ambiente windows), toda la pantalla visual es capturada por el portapapeles. Si en ese momento se deseaba capturar solo una fracción de la pantalla, el contenido de la imagen del portapapeles se editaba utilizando paintbrush.

El segundo paquete utilizado para capturar las pantallas fue *Paint shop pro*, su uso consistió en seleccionar (por medio de un marco) el área de la pantalla que se deseaba

capturar, para después, con el mismo paquete editarla, haciéndole ajustes de escalamiento, quitándole partes indeseables, cambiándole color etc., figura(6.6).



Fig.(6.6) Programa para captura de pantallas Paint Shop Pro.

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

Como comentario adicional, cabe decir que la mayoría de las figuras que se incluyen en este capítulo fueron capturadas por estos medios.

LA CAPTURA Y EDICION DE AUDIO.-

Para introducir voz y sonido al tutorial, se utilizaron dos programas:

- a) *Grabadora de sonidos* (Programa incluido en el grupo de accesorios de windows 3.1)
- b) *Wave Studio* (Programa para edición y captura de archivos de audio).

La grabadora de sonidos permitió grabar, de una manera sencilla y rápida, archivos de sonido con extensión .WAV, los cuales pudieron ser importados rápidamente desde Authorware.

Para iniciar la grabación de un archivo simplemente se presiona el botón marcado con un micrófono, y para detenerla basta con oprimir el botón de paro, ver figura (6.7).

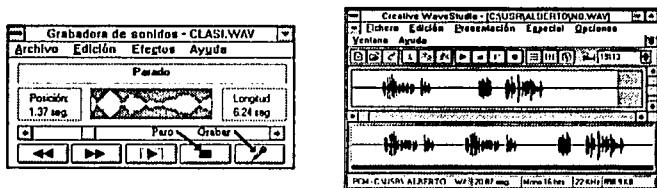


Fig. (6.7). Izquierda, grabadora de sonidos, a la derecha Wave Studio.

Los archivos de audio grabados por este método tienen una buena calidad de sonido, y debido a la sencillez del paquete es recomendable grabar los archivos de esta forma. No obstante, la desventaja que presentó la grabadora de sonidos es que no contaba con las características adecuadas para editar los archivos, como eliminar partes en blanco, por ejemplo.

Para editar los archivos se utilizó un paquete más avanzado llamado *Wave Studio*. Con *Wave Studio* también fue posible grabar archivos con extensión .WAV compatibles con Authorware; pero además presentó la ventaja de poder modificar algunas de las características de grabación de los archivos tales como: frecuencia de muestreo, tamaño de la muestra, borrar partes de la onda, y unir varias señales.

Los archivos de audio que se incluyen en el tutorial, se grabaron utilizando una frecuencia de muestreo de 11 KHz y una muestra de 8 bits, con esto se obtuvo una calidad de sonido no muy buena, pero en cambio se consiguió un consumo mínimo en el espacio de memoria de almacenamiento del disco^[33].

Para incluir *fondo musical* en el tutorial, simplemente se colocó una *compact disc* de audio en la unidad de *CD-ROM* para que fuera reproducido durante el transcurso de la

[33] Ver apartado 2.5 "audio en la computadora", de éste trabajo de tesis.

presentación. Otra de las opciones utilizadas fue la de incluir (en algunas partes del tutorial) archivos MIDI^[36], los cuales fueron capturados de programas demostrativos.

LAS ANIMACIONES DEL TUTORIAL.-

Las animaciones que se presentan en el tutorial, fueron hechas con el mismo Authorware. Estas animaciones, aunque sencillas (movimiento lineal de dibujos), dan muy buenos resultados, pues el incluir animaciones en una presentación ayuda definitivamente, a captar la atención del usuario. En la figura (6.8) se muestran las pantallas de Authorware que ayudan a dar animación a las imágenes del tutorial.

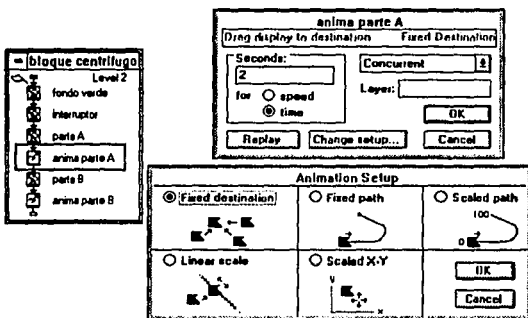


Fig.(6.8) Pantalla para animación de objetos, en authorware.

Hasta el momento se ha dado una breve descripción de los paquetes de software que se utilizaron para generar los diversos archivos de audio, texto e imágenes, que son necesarios para crear una presentación multimedia. Sin embargo, no se ha mencionado como es que se conjuntaron todos estos archivos para generar el tutorial, a continuación se da una pequeña descripción de ello.

^[36] Ver el apartado 2.5.3 de éste trabajo de tesis.

EL EDITOR DE PRESENTACIONES UTILIZADO.-

Para el caso de éste trabajo, el software editor de presentaciones multimedia que se encargó de conjuntar todos los archivos de texto, imagen, sonido, animación, para elaborar el tutorial, fue:

Authorware Star para Windows, versión 1.0

Para crear la presentación, Authorware se vale de una serie de íconos, cada uno de los cuales tiene una función específica que cumplir. El ordenamiento y la posibilidad de arrastrar cada uno de estos íconos, hacia la pantalla de trabajo de Authorware, permite organizar la lógica que da vida al tutorial. Como ejemplo considérese la figura (6.9), en ella se puede observar el arrastre de los íconos hacia la línea de flujo de la pantalla de trabajo de Authorware.

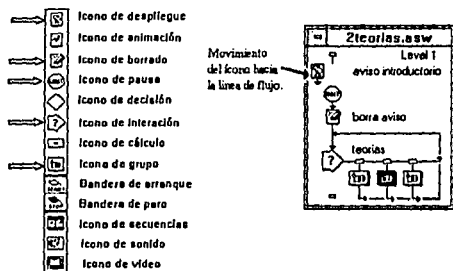


Fig.(6.9) Arrastre y colocación de íconos en la línea de flujo.

El primer ícono que aparece en la figura (ícono de despliegue), permite presentar texto, imágenes y gráficas en la pantalla de la computadora. El segundo ícono hacia abajo (ícono de pausa), detiene momentáneamente la presentación de la pantalla del ícono anterior hasta que el usuario presiona un botón, o hace click con el mouse, de allí, la secuencia pasa al tercer ícono (ícono de borrado), el cual borra el contenido del primer ícono (ícono de despliegue), es decir, borra el texto, imagen o gráfica que éste ícono contiene. Después de que se borra el contenido del primer ícono; en la pantalla de la computadora se despliega la imagen del ícono siguiente (ícono de interacción). Dicho ícono presenta una situación en donde se tiene que responder, ya sea por medio de botones, texto, o movimiento de un

objeto para seleccionar un camino dentro de la presentación. En éste caso, el ícono de interacción presenta tres caminos a seguir: Menú principal, Teoría de los campos cruzados y la Teoría del doble campo giratorio; cada uno de éstos tres íconos (íconos de grupo), permiten agrupar un número cualquiera de íconos, por lo tanto, dentro de cada uno de ellos, se puede crear otra ramificación de íconos que pueden contener toda la información que finalmente constituirá la presentación de una de las partes del tutorial. Figura (6.10).

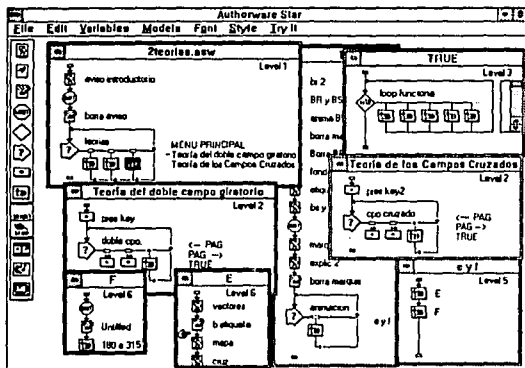


Fig.(6.10) Secuencia de íconos en la pantalla de trabajo de Authorware.

El gran inconveniente que presenta la versión utilizada (versión 1.0) de Authorware, es que solamente puede soportar 500 íconos como máximo en una presentación. Esta limitante impulsó a dividir el tutorial en módulos.

LA UNIÓN DE LOS MÓDULOS.-

IMAGE Q.

Image Q es un programa editor de presentaciones, que posee un lenguaje interno para el control de la misma. La utilización de este lenguaje propio, lo hace muy poderoso, pero por el contrario le resta sencillez en su uso.

La tarea de éste programa, consistió en entrelazar todos los módulos que se crearon con Authorware.

La forma de unir los módulos en el tutorial, consistió en utilizar el comando "Cal". Por ejemplo la siguiente instrucción (dentro de *Image Q*) manda correr el programa denominado *modulo1.exe*.

```
Cal "C:\modulo1.exe" Maximized
```

La palabra *maximized*, indica que el programa *modulo1.exe* deberá correr en toda la pantalla. Para llamar a éste comando, se definió un "botón pulsador" dentro de la presentación, de tal forma que al presionarlo, el control se traslada hacia el programa invocado.

```
On Button 1  
  Cal "C:\modulo1.exe" Maximized  
End button 1
```

Por ejemplo, la instrucción anterior corre el programa *modulo1.exe* al presionar el botón definido como número 1.

6.3 ESTRUCTURA DEL TUTORIAL

La estructura básica de ésta primera etapa del tutorial, está constituida por cinco módulos que en su conjunto tratan de exponer los conceptos básicos relacionados con el funcionamiento y operación del motor de inducción monofásico.

Cada módulo permite desplegar fotografías y dibujos combinados con texto y en algunas ocasiones con voz y sonido, también cuentan con secuencias animadas en puntos donde se pensó que era necesario incluirlas. La duración de cada módulo se encuentra entre 20 y 30 minutos, sin embargo, como todo trabajo basado en computadoras, se espera que éste tiempo varíe de un estudiante a otro, dependiendo de las características propias de aprendizaje de cada uno de ellos.

En la figura (6.11) se muestran los módulos que integran la estructura de la primera parte de éste tutorial.

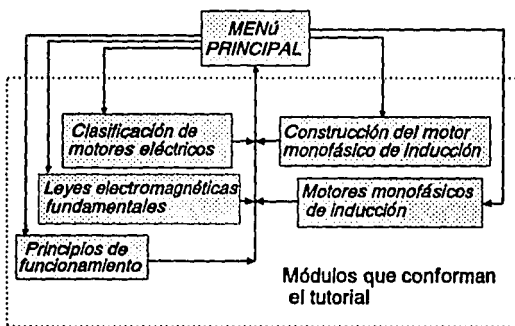


Fig.(6.11) Diagrama que muestra la estructura general del tutorial

Como se observa en el diagrama, el menú principal permite seleccionar el módulo cuya presentación se quiere ver; una vez que la presentación del módulo seleccionado finaliza, el control retorna al menú principal. En la figura (6.12) se muestra la pantalla del menú principal del tutorial.

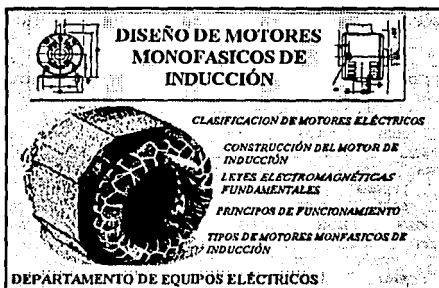
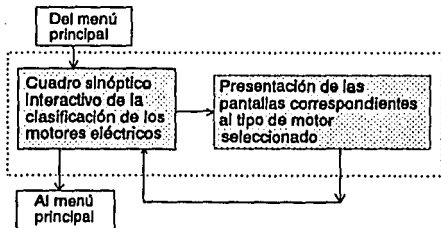


Fig (6.12) Pantalla del Menú Principal del tutorial.

La descripción general, y algunas fotografías del contenido de cada uno de los módulos involucrados en el tutorial, se presenta a continuación:

Módulo *Clasificación de Motores Eléctricos.*

En éste módulo se despliega un cuadro sinóptico interactivo en donde se presenta la clasificación de los motores de acuerdo a su tipo eléctrico. Dentro del cuadro, el usuario puede seleccionar cualquiera de los nombres de los motores que en él aparecen, al hacerlo, se presentan una serie de pantallas en donde se explican las características y aplicaciones principales del motor seleccionado.



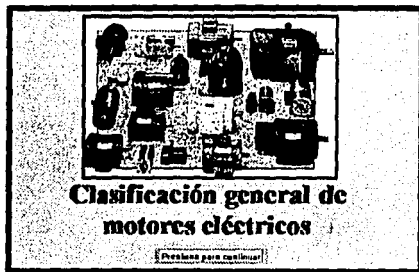
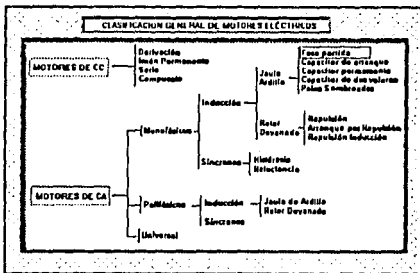



Fig.(6.13) Pantalla de presentación del módulo de Clasificación de Motores Eléctricos.

Fig.(6.14) Cuadro sinéptico interactivo, de la Clasificación de Motores Eléctricos.



MOTOR DE FASE PARTIDA

Aplicaciones



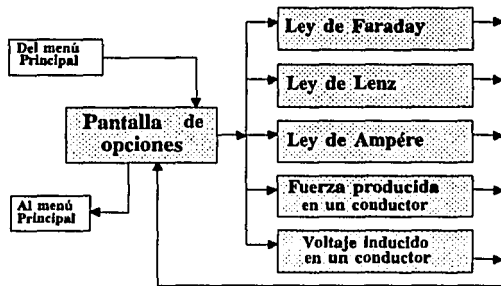
Se usan aplicaciones para los motores de fase partida con arranque que requieren de arranque a peso inercial, y en tiempo usual de funcionamiento relativamente corto, con velocidades de potencia de 1725 o 1750 RPM por ejemplo:

- Pequeños molinos
- Pequeños ventiladores
- Pequeños ventiladores
- Equipos para levantador, etc.

Fig.(6.15) Presentación de una de las pantallas del módulo de Clasificación de Motores Eléctricos.

Módulo Leyes Electromagnéticas Fundamentales.-

Valiéndose de texto y de algunos dibujos animados, éste módulo presenta una explicación cualitativa de las leyes fundamentales de la teoría electromagnética que rigen el comportamiento de cualquier máquina eléctrica. Las leyes que se incluyen son: Ley de Faraday, Ley de Ampere, Ley de Lenz, Generación de voltaje inducido en un conductor y Fuerza generada en un conductor que se encuentra dentro de un campo magnético (relación de *Biot-Savart*). Las figuras siguientes muestran la estructura, y una pantalla de éste módulo.



Relación de fuerza de Biot-Savart

Cuando se tiene una carga en movimiento dentro de un campo magnético, Sobre ella se produce una fuerza cuya magnitud depende de la velocidad con que ésta se mueva (v), de la densidad del campo magnético (B) y de la magnitud de dicha carga (Q).

Fuerza sobre la carga

Matemáticamente se escribe:

$$F = Q (V \times B)$$

Anodo

Una vez que se conecta el interruptor y se genera un campo magnético en el electroimán, se genera una fuerza sobre la carga, que desvía su trayectoria.

Haga Click con el mouse

Regresa

Avanza

Fig.(6.16) Presentación de una de las pantallas que integran el módulo de Leyes Eléctricas Fundamentales.

Módulo Tipos de motores de inducción monofásicos.-

Este módulo inicia con una pequeña sección introductoria en donde se da una descripción de lo que es el método de "división de fase" o "fase partida", al terminar ésta, se despliega una pantalla en donde se muestran las fotografías del motor de fase partida, los de tipo capacitor (capacitor de arranque, capacitor permanente y capacitor de dos valores), y el motor de polos sombreados. Las partes principales de cada uno de éstos motores, así como sus principios de arranque, características de par y aplicaciones, se despliegan en la pantalla cuando el usuario selecciona con el mouse la fotografía del motor que quiere ver.

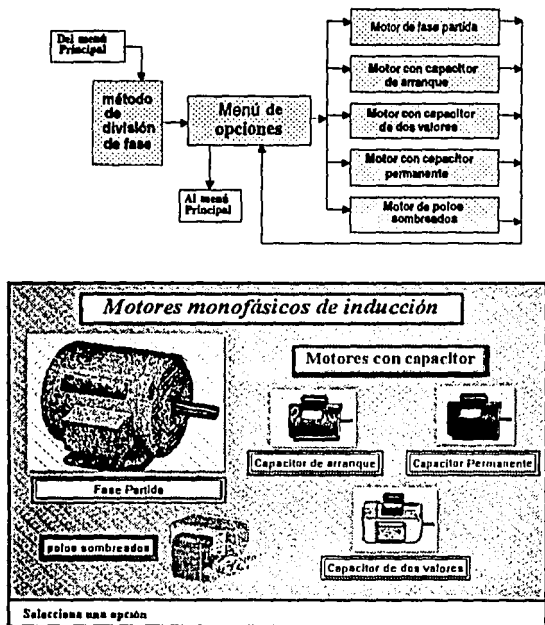


Fig.(6.17) Menú de opciones del módulo Tipos de Motores de Inducción Monofásicos.

Módulo Construcción del Motor de Inducción Monofásico.-

En éste módulo se presenta la descripción de las principales partes constructivas del motor de inducción como lo son: el rotor jaula de ardilla, el estator, y los tipos de aislamiento, finalizando con la presentación de una serie de fotografías que dejan ver el aspecto externo de algunos motores monofásicos, en donde se les clasifica de acuerdo a su diseño mecánico y de ventilación.

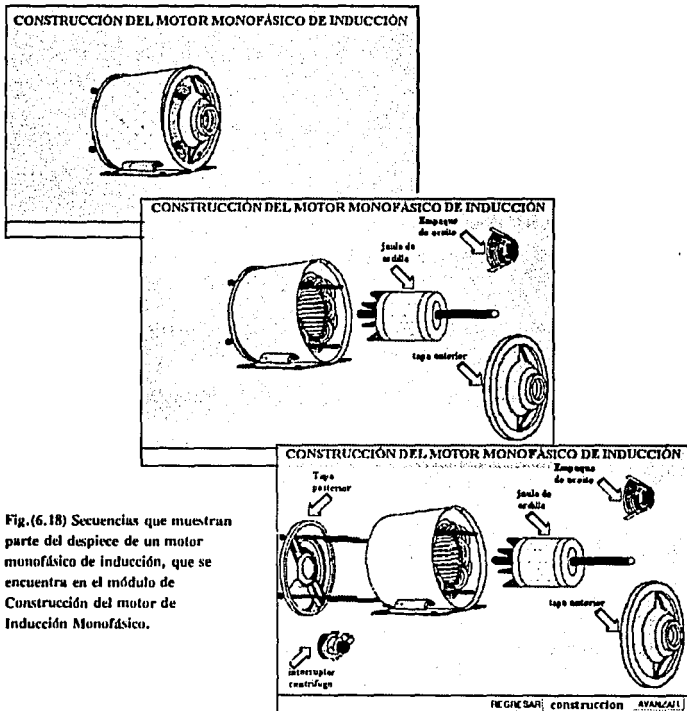


Fig.(6.18) Secuencias que muestran parte del despiece de un motor monofásico de inducción, que se encuentra en el módulo de Construcción del motor de Inducción Monofásico.

Módulo Principios de Funcionamiento del Motor de Inducción Monofásico.-

En este módulo se presentan los temas relacionados con los principios de funcionamiento del motor de inducción, la generación de un campo magnético giratorio, el concepto de deslizamiento, par equilibrado del motor monofásico de inducción (campo magnético pulsante y estacionario generado por un devanado monofásico), y generación de par en el motor monofásico de inducción (teoría del doble campo giratorio y teoría de los campos cruzados).

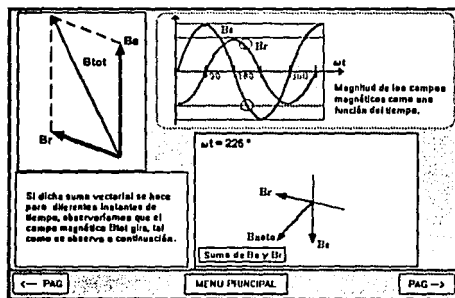
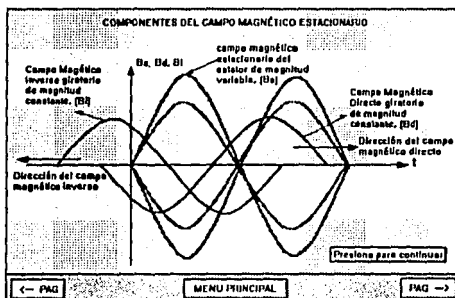


Fig. (6.19) Pantallas que integran el módulo Principios de Funcionamiento del Motor de Inducción Monofásico.

Este módulo, al igual que el módulo anterior "construcción del motor monofásico de inducción", están estructurados por páginas, cada una de las cuales, puede a su vez, subdividirse en estructuras que pueden contener, ya sea: otra serie pantallas complementarias donde se puede llegar a introducir un submódulo¹⁷¹, animaciones, ciclos repetitivos o interacciones con varias opciones. Figura (6.20).

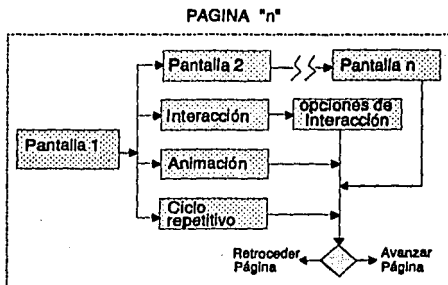


Fig (6.20) Estructura interna de una página.

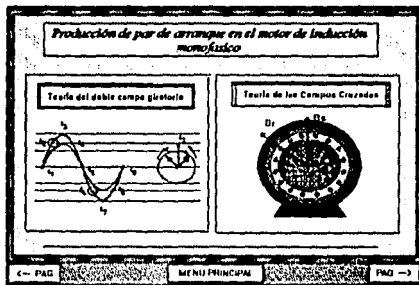


Fig (6.21) Ejemplo de uno de los submódulos en que se dividió el módulo Principios de Funcionamiento del Motor de Inducción Monofásico.

¹⁷¹ Tal fué el caso de la página "Generación de par en el motor monofásico de inducción", que se dividió en los submódulos "Teoría del doble campo giratorio" y "Teoría de los campos cruzados". Fig(6.21).

CAPITULO 7

Conclusiones y Recomendaciones.

7.1 CONCLUSIONES.-

- En el presente trabajo se desarrolló la primera etapa de un curso tutorial por computadora, hecho con la tecnología Multimedia, que puede aplicarse al aprendizaje del diseño del motor de inducción monofásico^[38].
- A lo largo de la investigación realizada para la elaboración de éste trabajo se intentó recopilar al máximo la información teórica que los distintos expertos en la materia de diseño de motores de inducción presentan en libros, artículos técnicos y revistas. Con base en la información recopilada, se seleccionaron los temas que se incluyen en esta primera etapa del curso tutorial.
- El tutorial se elaboró utilizando la versión 1.0 del editor para presentaciones multimedia "Authorware Star", y está conformado por cinco módulos; estos son:
 - Clasificación de motores eléctricos.
 - Leyes electromagnéticas fundamentales.
 - Construcción del motor de inducción monofásico.
 - Principios de funcionamiento del motor de inducción monofásico
 - Tipos de motores de inducción monofásicos.

^[38] Tal curso, se desarrolla dentro del marco de referencia de un proyecto de Máquinas Eléctricas Rotatorias (MER) del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

- Cada uno de los módulos están diseñados para automantenerse, es decir que el usuario no requiere de ningún conocimiento previo sobre computadoras para navegar a través de ellos, ya que si fuese necesario, la computadora le indica al usuario que tecla presionar para continuar.
- Los módulos están compuestos por textos, imágenes, gráficas, dibujos con, o sin animación, y sonido. Con esto, se logra un ambiente de comunicación más amena e interesante, entre el estudiante y la computadora.
- El tutorial brinda la posibilidad de dar al usuario una atención personal, también le permite conducir el paso de cada módulo en una situación de velocidad autodefinida, que consiste en controlar completamente el ritmo del curso. Así mismo, el tutorial puede ser utilizado tanto en situaciones donde el instructor esté presente, como es el típico ambiente escolar; y en situaciones donde éste no este presente, por ejemplo, en la casa del aprendiz, en la biblioteca o en alguna oficina en la industria.
- Aún no se ha emprendido un programa para la evaluación de la efectividad de éste material. Sin embargo, experiencias informales sugieren que este tutorial, cumple con la función de ayuda para incrementar la comprensión y retención de la información, para enriquecer el conocimiento o bien, para reforzar el aprendizaje.
- Se espera que la información que se incluye en los módulos sirva para que el aprendiz pueda introducirse en lo que son las bases y principios del proceso del diseño electromagnético del motor de inducción monofásico (etapas futuras del curso tutorial).

7.2 RECOMENDACIONES.-

- Para elaborar las etapas futuras de éste curso tutorial, se recomienda utilizar la versión profesional de Authorware, de manera que se puedan manejar un mayor número de íconos para elaborar la presentación, lo cual no se pudo lograr con la versión 1.0, pues esta sólo permitió colocar un máximo de 500 íconos por presentación, teniéndose la necesidad de seccionar el tutorial y recurrir a un segundo paquete para unir los módulos individuales.

- También es recomendable, adicionar al equipo de hardware una tarjeta de video. Con objeto de poder añadir al tutorial secuencias de video de problemas reales de diseño, con lo cual se lograría incrementar la efectividad del curso.
- Otro trabajo interesante sería el de emplear un método para poder realizar exámenes a los estudiantes, y que en todo momento, durante el uso de éste material, se pueda reunir información detallada sobre las respuestas que den los usuarios, de ésta manera se podría llevar un registro de los mismos, con el cual se puede saber si aprueban o reprueban determinado tema, no permitiéndoles pasar al siguiente tema sino hasta que han completado las unidades previas.
- Hasta ahora la computadora ha jugado un papel de poca importancia en la enseñanza del diseño de motores y otras materias. Sin embargo, podemos esperar que en los próximos años esto tenga un cambio drástico debido al desarrollo de la tecnología Multimedia y la difusión de las relativamente baratas computadoras personales.
- Como objetivo adicional, espero que éste trabajo cumpla con su función informativa para consultas futuras y, primordialmente, motive a más ingenieros para que se integren a la especialidad del diseño de motores monofásicos, se preparen y ayuden a mejorar el desarrollo industrial del país.

Bibliografía

- [1] VEINOTT, CYRIL G. Theory and Design of Small Induction Motors. University of Missouri-Rolla, New York: Mc Graw Hill, c1959. 477p.
- [2] VEINOTT, CYRIL G. Fractional and Subfractional Horsepower Electric Motors. 4th.ed. New York: Mc Graw Hill, c1987. 486p.
- [3] FITZGERALD, A.E. [Y] KINGSLEY CHARLES. [Y] KUSKO ALEXANDER. Teoría y Análisis de las Máquinas Eléctricas. 2nd.ed. México: Editia mexicana S.A., c1984. 587p.
- [4] Mc PHERSON, GEORGE. Introducción a Máquinas Eléctricas y Transformadores. 1era.ed. México: Limusa, c1987. 567p.
- [5] SERWAY, RAYMOND A. Física, Tomo II. 2nd.ed. México: Mc Graw Hill, c1982. 982p.
- [6] CHAPMAN, J. STEPHEN. Máquinas Eléctricas. 2nd.ed. México: Mc Graw Hill, c1993. 740p.
- [7] KOSOW, I.L. Máquinas Eléctricas y Transformadores. 2nd.ed. México: Reverté, S.A., c1980. 727p.
- [8] REICH, PETER. "Single Phase Electric Motors: Characteristics and Applications". Power Transmission Design, November 1993.
- [9] VEINOTT, CYRIL G. Motores Eléctricos de Potencia Fraccionaria y Subfraccionaria. 1era.ed. Barcelona España: Marcombo, c1980. 532p.
- [10] KUHLMANN, JOHN H. Diseño de Aparatos Eléctricos. 1era.ed. México: CECSA, c1959. 559p.
- [11] VEINOTT, CYRIL G. How to Design a Single-Phase motor on a Personal Computer. 2nd.ed. Sarasota, Florida, USA: Mc Graw Hill, c1989. 708p.
- [12] DAWES, CHESTER L. Tratado de Electricidad C.A., tomo segundo. 4ta.ed. México: Mc Graw Hill, c1981. 785p.

- [13] LEANDER, W. MATSCH. Máquinas Electromecánicas y Electromagnéticas, 1era.ed. México: Representaciones y Servicios de Ingeniería. S.A., c1974. 524p.
- [14] DIAZ GONZALES, OSCAR LEOPOLDO. "Criterios de diseño y optimización de motores eléctricos polifásicos de inducción jaula de ardilla" Cuernavaca, México, DF.: Instituto Politécnico Nacional, Diciembre 1984. (Tesis de licenciatura). 164p.
- [15] ENRIQUEZ HARPER, GILBERTO. Motores de Corriente Alterna, en: "El ABC de las Máquinas Eléctricas". vol.II. 1era.ed. México: Limusa. c1988. 416p.
- [16] TRICKEY, P.H. "Output of Induction Motors Depends on Total Active Material". Product Eng., December 1946.
- [17] FLOYD, STEV. The IBM multimedia handbook. "Complete guide to hardware and software applications"., 1st. edition. New York, U.S.: Brady publishing, c1993. 334p.
- [18] ROSEMBERG, VICTORIA. A guide to multimedia. 5ta.ed. México: Mc Graw Hill, c1992. 523p.
- [19] WODASKI, RON. Multimedia madness. 2nd.ed. Indianapolis U.S.: Prentice Hall, c1994. 1100p.
- [20] JAMSA, KRIS. La magia de multimedia. 1era.ed. México: Mc Graw Hill, c1993. 330p.
- [21] MANUEL GANDARA, "Multimedios en la educación ¿promesa o realidad?". en: Conferencia del 2do congreso Metropolitano para estudiantes de ingeniería (3; México. DF.:AMIME, 1993) pp.83-91.
- [22] ISSAM, QASEM. "Multimedia Technology In Engineering Education". Electronics and Mechanical Engineering. Shouthern University. Lousiana, 1992.
- [23] Instituto de Investigaciones Eléctricas. "Multimedia". Sistema de Monitoreo Tecnológico., Vol.6. No.7., Mayo 1993.
- [24] Motores de inducción de corriente alterna tipo jaula de ardilla, en potencias de 0.062 a 375 Kw. Norma Oficial Mexicana (NOM-J-75-1985).
- [25] BORK, ALFRED. La enseñanza en computadoras personales. 2nd.ed. Centro de tecnología educativa de la universidad de California, Irvine, USA: CECSA, c1983. 287p.