

**SOFTWARE TUTORIAL PARA EL ANÁLISIS DE
PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN MOTORES,
TRANSFORMADORES Y GENERADORES
ELÉCTRICOS COMO HERRAMIENTA DE LA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**JUAN CARLOS GARCÍA CHALARCA
LUIS ALBERTO MARTÍNEZ TORRES
GERMAN AUGUSTO MELO PAREJA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2004

**SOFTWARE TUTORIAL PARA EL ANÁLISIS DE
PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN MOTORES,
TRANSFORMADORES Y GENERADORES
ELÉCTRICOS COMO HERRAMIENTA DE LA
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

**JUAN CARLOS GARCÍA CHALARCA
LUIS ALBERTO MARTÍNEZ TORRES
GERMAN AUGUSTO MELO PAREJA**

**Trabajo de Grado para optar el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
CARLOS RAMÓN GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ
Ingeniero Mecánico
Codirector
CIRO JURADO JEREZ
Ingeniero electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2004**

Este trabajo está dedicado a quienes siempre estuvieron conmigo:

A mis padres por su apoyo incondicional y sobre todo por su paciencia.

A mis hermanos por el gran ejemplo brindado y sus palabras de cariño.

A Arle Patricia, por su apoyo, dedicación y amor.

A todos aquellos que de forma desinteresada me apoyaron.

Y a DIOS por permitirme culminar con éxito mi sueño de ser Ingeniero Mecánico.

Juan Carlos

Este trabajo está dedicado a DIOS por permitirme culminar con éxito mi sueño de ser Ingeniero Mecánico.

A quienes siempre estuvieron conmigo:

A mis padres por su apoyo incondicional y sobre todo por su paciencia.

A mis hermanos quienes de una u otra forma me motivaron siempre en la culminación de este proyecto.

A todos aquellos que de forma desinteresada me apoyaron.

Luis Alberto

Este trabajo está dedicado a quienes siempre estuvieron conmigo:

A mis padres y suegros por su paciencia.

A mis hermanos por el gran ejemplo brindado.

Tatiana y Carlos A., por su apoyo, dedicación y amor.

A todos aquellos que de forma desinteresada me apoyaron.

Y a DIOS por permitirme culminar con éxito mi sueño de ser Ingeniero Electricista.

German Augusto

AGRADECIMIENTOS

A Carlos Ramón González Bohórquez, Ingeniero Mecánico, director del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Ciro Jurado Jerez, Ingeniero Electricista, codirector del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A todos mis familiares, que me motivaron de una u otra forma a culminar este trabajo, en especial a mis padres y Hermanos, por su apoyo incondicional y sus enseñanzas brindadas.

A Arle Patricia Ruiz Mayorga, por su amor, apoyo, confianza y colaboración durante todos aquellos momentos claves.

A todos mis amigos, en especial a Javier Mauricio, Jaime Zarate, Yesit, Ciro, por su amistad y apoyo incondicional.

A Luis Alberto, German Augusto, por su amistad, paciencia y apoyo incondicional.

Juan Carlos García Chalarca

AGRADECIMIENTOS

A Jesucristo por su amor y ayuda durante toda mi vida.

A Carlos Ramón González Bohórquez, Ingeniero Mecánico, director del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A Ciro Jurado Jerez, Ingeniero Electricista, codirector del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A mis padres y hermanos, que me motivaron de una u otra forma a culminar este trabajo, por su apoyo incondicional y sus enseñanzas brindadas.

A todos mis amigos, en especial a Helberth Orlando Espíndola, por su amistad y apoyo incondicional.

A Juan Carlos, German Augusto, por su amistad, paciencia y apoyo incondicional.

Luis Alberto Martínez Torres

AGRADECIMIENTOS

A *Ciro Jurado Jerez*, Ingeniero Electricista, Director del proyecto y *Carlos Ramón González Bohórquez*, Ingeniero Mecánico, codirector del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A todos mis familiares, que me motivaron de una u otra forma a culminar este trabajo, en especial a mis padres Hermanos y suegros, por su apoyo incondicional y sus enseñanzas brindadas.

A *Tatiana Castellanos*, por su amor, apoyo, confianza y colaboración durante todos aquellos momentos claves.

A *Juan Carlos* y *Luis Alberto*, por su amistad, paciencia y apoyo incondicional.

German Augusto Melo Pareja

RESUMEN

TÍTULO: SOFTWARE TUTORIAL PARA EL ANALISIS DE PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN MOTORES, TRANSFORMADORES Y GENERADORES ELÉCTRICOS COMO HERRAMIENTA DE LA INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO *

**AUTORES: GERMAN AUGUSTO MELO
JUAN CARLOS GARCÍA CHALARCA
LUIS ALBERTO MARTÍNEZ TORRES****

PALABRAS CLAVES: Motores, Generadores, Transformadores, Material Educativo Computarizado, Software educativo.

DESCRIPCIÓN:

Mediante la aplicación de la Ingeniería de Mantenimiento se busca restablecer un bien a un estado específico para asegurar un servicio determinado; su desarrollo ha ocasionado que la informática sea vinculada como una de sus herramientas.

Los Transformadores, generadores y motores eléctricos se usan en multitud de aplicaciones en la industria, y es de vital importancia garantizar su correcto funcionamiento. Con el paso del tiempo se han desarrollado técnicas para el análisis de los posibles problemas de mantenimiento de estos equipos; pero la información obtenida en ellas se encuentra dispersa, y su obtención es lenta y compleja.

Con el desarrollo de un Software Tutorial para el análisis de los problemas de mantenimiento en motores, transformadores y generadores eléctricos como herramienta de la Ingeniería de Mantenimiento se busca ofrecer al estudiante de Ingeniería y de Postgrado de la Universidad Industrial de Santander un instrumento didáctico que le brinde y le facilite el aprendizaje de los conceptos básicos de este análisis de problemas en estos equipos; de tal forma que el estudiante pueda recibir este conocimiento de forma virtual y personalizada, donde él mismo decida su propio ritmo y profundidad de aprendizaje, en un ambiente amigable e interactivo. El Software Tutorial ha sido dividido en cuatro capítulos ordenados pedagógicamente, en donde se sigue una secuencia de temas que abarcan la historia, conceptos físicos, funcionamiento y finalizando con el análisis de problemas de mantenimiento.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Carlos Ramón González Bohórquez, Ingeniero Mecánico, Codirector: Ciro Jurado Jerez Ingeniero Eléctrico.

SUMMARY

TITLE: SOFTWARE TUTORIAL ON THE ANALYSIS OF TROUBLESHOOTING ISSUES ON MOTORS, TRANSFORMERS AND ELECTRIC GENERATORS TO BE USED AS A TOOL FOR TROUBLESHOOTING ENGINEERING

**WRITTEN BY: GERMAN AUGUSTO MELO
JUAN CARLOS GARCÍA CHALARCA
LUIS ALBERTO MARTÍNEZ TORRES ****

KEYWORDS: Motors, Generators, Transformers, Computerized educational material, Educational software.

DESCRIPTION:

By applying troubleshooting engineering, we are looking to ensure the correct performance of specific pieces of equipment; this development has linked computers to troubleshooting engineering making them one of its most important tools.

Transformers, generators and electric motors are greatly used as industrial appliances, it is vital to guarantee their flawless performance. With time several techniques have been developed to help with analysis of the possible troubleshooting issues of these appliances; however, the data obtained is scattered and its gathering confusing and slow.

The development of this tutorial offers the engineering students, as well as students in their masters, a didactic tool to ease the learning and comprehension of the basic concepts when analyzing equipment issues; this way the students can get virtual and personalized knowledge where they can determine their own pace as well as the depth of their learning in a friendly and interactive environment.

The software tutorial has been divided en 4 chapters. These 4 chapters follow a sequence of topics such as history, physics, performance and it ends with the analysis of any troubleshooting issues.

* Graduation Project.

** Faculty of Physics-Mechanical Engineering, Mechanical Engineering School.. Director: Carlos Ramón González Bohórquez, Mechanical Engineer., Codirector Ciro Jurado Jerez Electric Engineer

CONTENIDO

	pág.
<u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1. <u>GENERALIDADES</u>	4
1.1 <u>HISTORIA DE LA ELÉCTRICIDAD</u>	4
1.2 <u>HISTORIA DEL MOTOR ELECTRICO</u>	23
1.3 <u>HISTORIA DEL TRANSFORMADOR ELECTRICO</u>	25
1.4 <u>HISTORIA DEL GENERADOR ELECTRICO</u>	26
2. <u>MOTORES ELECTRICOS</u>	31
2.1 <u>CLASIFICACIÓN GENERAL DE MOTORES ELÉCTRICOS</u>	33
2.2 <u>MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE DIRECTA (CD)</u>	33
2.2.1 <u>Principio de Funcionamiento</u>	36
2.2.2 <u>Partes Principales</u>	36
2.2.2.1 <u>Rotor</u>	37
2.2.2.2 <u>Estator</u>	39
2.2.3 <u>Clasificación General de Motores de CD</u>	43
2.2.3.1 <u>Con imanes permanentes o excitación independiente</u>	43
2.2.3.2 <u>Con bobinas inductoras o autoexcitado</u>	44
2.3 <u>MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA (CA)</u>	47
2.3.1 <u>Principio de Funcionamiento</u>	48
2.3.2 <u>Partes Principales</u>	49
2.3.3 <u>Clasificación General de Motores de CA</u>	54
2.3.3.1 <u>Motor Síncrono</u>	55
2.3.3.2 <u>Motor Asíncrono</u>	56

2.4	<u>OTROS MOTORES</u>	59
2.4.1	<u>Motor Universal</u>	59
2.4.2	<u>Motor Paso a Paso</u>	60
2.5	<u>SISTEMAS DE AISLAMIENTO PARA MOTORES ELÉCTRICOS</u>	61
2.5.1	<u>Características Generales</u>	61
2.5.2	<u>Clasificación de los materiales aislantes</u>	62
2.5.3	<u>Componentes básicos de los sistemas de aislamiento</u>	63
2.5.4	<u>Temperaturas nominales de los sistemas de aislamiento</u>	66
2.6	<u>ANÁLISIS DE PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN MOTORES ELÉCTRICOS</u>	67
2.6.1	<u>Operación con frecuencia y voltaje diferentes del valor nominal</u>	68
2.6.1.1	<u>Condiciones de funcionamiento Satisfactoria</u>	68
2.6.1.2	<u>Efectos por aumento o reducción de la frecuencia</u>	68
2.6.1.3	<u>Efectos por aumento o reducción del voltaje</u>	69
2.6.2	<u>Averías en motores eléctricos</u>	70
2.6.2.1	<u>Problemas en el colector y las escobillas</u>	75
2.6.2.2	<u>Problemas en el núcleo y en los devanados</u>	79
2.6.2.3	<u>Problemas mecánicos en motores eléctricos</u>	104
2.6.2.4	<u>Problemas durante el arranque de motores eléctricos</u>	113
2.6.2.5	<u>Problemas durante la operación de motores eléctricos</u>	127
3.	<u>TRANSFORMADORES ELECTRICOS</u>	137
3.1	<u>CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS TRANSFORMADORES</u>	145
3.1.1	<u>Transformadores de Potencia</u>	146
3.1.2	<u>Reguladores de Tensión y Autotransformadores</u>	148
3.1.2.1	<u>Transformador de distribución</u>	149
3.1.2.2	<u>Autotransformadores</u>	154
3.1.3	<u>Transformadores de Medida y/o Protección</u>	155

3.1.3.1	Transformadores de medida	155
3.2	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR ELECTRICO	162
3.3	PARTES DE UN TRANSFORMADOR ELÉCTRICO	166
3.4	AISLAMIENTOS EN TRANSFORMADORES	175
3.4.1	Transformadores con aislamiento de aceite	176
3.4.2	Aislamiento Sólido	178
3.5	ANÁLISIS DE PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS	179
3.5.1	Problemas del aceite aislante y refrigerante	182
3.5.2	Problemas eléctricos	191
3.5.3	Problemas en accesorios mecánicos	196
3.5.4	Otros problemas	198
4.	GENERADORES ELÉCTRICOS	209
4.1	CLASIFICACION GENERAL DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS	209
4.2	GENERADOR SÍNCRONO	209
4.2.1	Principio de funcionamiento	210
4.2.1.1	Ecuaciones características del generador síncrono	212
4.2.2	Partes principales	216
4.2.2.1	Estator o armadura	216
4.2.2.2	Rotor o campo	216
4.2.2.3	Sistema de excitación	217
4.2.3	Clasificación de los generadores síncronos de corriente alterna (CA)	217
4.2.3.1	Construcción	217
4.2.3.2	Método de enfriamiento	220
4.2.3.3	Sistema de excitación	223

4.3	<u>GENERADORES DE INDUCCIÓN</u>	227
4.4	<u>GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA (CD)</u>	229
4.4.1	<u>Principio de funcionamiento</u>	230
4.4.2	<u>Partes principales</u>	233
4.4.2.1	<u>Estator</u>	233
4.4.2.2	<u>Rotor</u>	234
4.4.3	<u>Clasificación de los generadores de corriente directa (CD)</u>	234
4.4.3.1	<u>Generador de excitado en serie</u>	234
4.4.3.2	<u>Generador de excitado en derivación</u>	234
4.4.3.3	<u>Generador de excitado combinado</u>	235
4.5	<u>ANÁLISIS DE PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO DE GENERADORES ELÉCTRICOS</u>	235
4.5.1	<u>Problemas mecánicos</u>	237
4.5.1.1	<u>Desbalance</u>	237
4.5.1.2	<u>Desalineamiento, ejes pandeados</u>	237
4.5.1.3	<u>Rodamientos defectuosos</u>	238
4.5.1.4	<u>Cojinetes en planos defectuosos</u>	241
4.5.1.5	<u>Solturas mecánicas</u>	242
4.5.1.6	<u>Excentricidad</u>	242
4.5.1.7	<u>Cojinetes antifricción defectuosos</u>	242
4.5.1.8	<u>Cojinete de fricción defectuosa</u>	244
4.5.1.9	<u>Defectos de engranajes</u>	248
4.5.1.10	<u>Vibración excesiva</u>	248
4.5.2	<u>Problemas eléctricos</u>	250
4.5.2.1	<u>Resonancia</u>	251
4.5.2.2	<u>Problemas en los devanados</u>	252
4.5.2.3	<u>El generador no excita</u>	264

4.5.2.4	<u>El generador no excita, hasta la tensión nominal</u>	266
4.5.2.5	<u>En vacío, el generador excita hasta la tensión nominal, pero entra en colapso con carga</u>	267
4.5.2.6	<u>El generador, en vacío, es excitado a través de sobre tensión</u>	267
4.5.2.7	<u>Oscilaciones en las tensiones del generador</u>	267
4.5.3	<u>Problemas térmicos</u>	268
4.5.3.1	<u>Calentamiento excesivo del descanso (rodamiento)</u>	268
4.5.3.2	<u>Calentamiento excesivo de la carcasa del generador</u>	269
5.	<u>MANUAL DE USUARIO</u>	273
5.1	<u>INTRODUCCIÓN MANUAL DE USUARIO</u>	273
5.2	<u>ESTRUCTURA DEL TUTORIAL Y NAVEGACION</u>	276
5.2.1	<u>Características del software tutorial</u>	277
5.3	<u>REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA</u>	277
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	
7.	<u>RECOMENDACIONES</u>	
8.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	

LISTA DE FIGURAS

	Pág..
Figura 1. <u>Tales De Mileto</u>	4
Figura 3. <u>William Gilbert</u>	5
Figura 4. <u>Brújula de Gilbert</u>	5
Figura 5. <u>Máquina electrostática de Otto Von Guericke</u>	6
Figura 6. <u>Botella de Leyden</u>	7
Figura 7. <u>Benjamín Franklin</u>	7
Figura 8. <u>Joseph Priestley</u>	8
Figura 9. <u>Fuerza Entre Cargas Eléctricas</u>	8
Figura 10. <u>Luigi Galvani</u>	9
Figura 11. <u>Pila de Alessandro Volta</u>	10
Figura 12. <u>Simeón-Denis Poisson</u>	10
Figura 13. <u>Hans Christian Oersted</u>	11
Figura 33. <u>Esquema Simplificado De Biot-Savart</u>	11
Figura 34. <u>Primer electroimán</u>	12
Figura 35. <u>André Marie Ampère</u>	12
Figura 36. <u>Georg Simon Ohm</u>	13
Figura 37. <u>Primeros desarrollos científicos de Faraday</u>	14
Figura 38. <u>Transmisor y receptor desarrollados 1844 por Morse.</u>	14
Figura 39. <u>Conservación de la Energía en circuitos</u>	15
Figura 40. <u>Gustav Robert Kirchhoff</u>	16
Figura 41. <u>Lámpara de Arco</u>	16
Figura 42. <u>Lord Kelvin</u>	17
Figura 43. <u>Julios Plücker</u>	17

Figura 44.	<u>Dínamo de Gramme</u>	18
Figura 45.	<u>James Clerk Maxwell</u>	18
Figura 46.	<u>Primer teléfono de Graham Bell</u>	19
Figura 47.	<u>Primera lámpara de filamento</u>	19
Figura 48.	<u>Heinrich Rudolf Hertz</u>	20
Figura 49.	<u>John Henry Poynting</u>	21
Figura 52.	<u>Pionero del sistema eléctrico actual</u>	21
Figura 53.	<u>George Westinghouse</u>	22
Figura 54.	<u>Primera Planta De Generación</u>	22
Figura 55.	<u>Primer motor eléctrico</u>	23
Figura 56.	<u>Motor eléctrico de Gramme.</u>	24
Figura 57.	<u>Primer Transformador Eléctrico, construido por Faraday.</u>	25
Figura 58.	<u>Michael Faraday.</u>	26
Figura 59.	<u>Conductor En Un Campo Magnético.</u>	27
Figura 60.	<u>André Marie Ampère.</u>	27
Figura 61.	<u>Corriente Pasando A través De Un Conductor En Un Campo Magnético</u>	28
Figura 62.	<u>Dinamo De Faraday.</u>	29
Figura 63.	<u>Antiguo Generador</u>	30
Figura 64.	<u>Esquema simplificado de un motor eléctrico</u>	31
Figura 65	<u>Aplicación de los motores eléctricos en la Industria Metalúrgica</u>	32
Figura 66.	<u>Clasificación general de motores eléctricos</u>	33
Figura 67.	<u>Motor Eléctrico De Corriente Directa (DC)</u>	34
Figura 68.	<u>Motor De Corriente Directa Para Trabajo pesado a intemperie.</u>	34
Figura 69.	<u>Aplicación de motores de CD en Sistemas de refrigeración.</u>	35

Figura 70.	<u>Motor de corriente directa en corte</u>	36
Figura 71.	<u>Rotor de motor de CD</u>	37
Figura 72.	<u>Núcleo de motor de corriente directa</u>	38
Figura 73.	<u>Eje o flecha</u>	38
Figura 74.	<u>Devanado</u>	39
Figura 75.	<u>Colector de motor de corriente directa</u>	39
Figura 76.	<u>Estatore de motor de CD.</u>	40
Figura 77.	<u>Yugo o armazón de motor de corriente directa</u>	40
Figura 78.	<u>Polos principales</u>	41
Figura 79.	<u>Bobinas motor de corriente directa</u>	41
Figura 80.	<u>Escobillas</u>	42
Figura 81.	<u>Portaescobillas</u>	42
Figura 82.	<u>Clasificación General De Motores De Corriente Directa (CD).</u>	43
Figura 83.	<u>Estatore De Un Motor De Corriente Directa De Imán Permanente.</u>	44
Figura 84.	<u>Conexión en derivación</u>	45
Figura 85.	<u>Conexión en serie</u>	45
Figura 86.	<u>Conexión compuesta</u>	46
Figura 87.	<u>Conexión compuesta larga</u>	46
Figura 88.	<u>Conexión compuesta corta</u>	47
Figura 89.	<u>Motor De Corriente Alterna (CA)</u>	47
Figura 90.	<u>Rotor de Imán permanente</u>	48
Figura 91.	<u>Onda senoidal</u>	49
Figura 92.	<u>Bobinas en el rotor alimentadas con CD</u>	49
Figura 93.	<u>Rotor de motor de CA</u>	50
Figura 94.	<u>Tipos de excitación de motor de CA síncrono</u>	50
Figura 95.	<u>Rotor de polos salientes inductor.</u>	51

Figura 96.	<u>Rotor cilíndrico</u>	52
Figura 97.	<u>Rotor de jaula de ardilla</u>	52
Figura98.	<u>Rotor bobinado</u>	53
Figura 99.	<u>Estator de motor de corriente alterna síncrono</u>	53
Figura 100.	<u>Motor De Corriente Alterna Desarmado</u>	54
Figura 101.	<u>Clasificación de motores de CA</u>	55
Figura 102.	<u>Motor de corriente alterna síncrono</u>	55
Figura 103.	<u>Motor de corriente alterna asíncrono</u>	56
Figura 104.	<u>Rotor bobinado</u>	57
Figura 105.	<u>Anillos rozantes</u>	57
Figura 106.	<u>Motor jaula de ardilla</u>	58
Figura 107.	<u>Partes principales</u>	58
Figura 108.	<u>Otros motores</u>	59
Figura 109.	<u>Aplicación de un motor universal</u>	60
Figura 110.	<u>Motor paso a paso</u>	60
Figura 111.	<u>Pérdidas De Potencia En Motores Eléctricos</u>	61
Figura 112.	<u>Componentes básicos de los sistemas de aislamiento</u>	63
Figura 113.	<u>Aislamiento de ranura</u>	63
Figura 114.	<u>separador de fases</u>	64
Figura 115.	<u>Alambre para aislamiento de motores eléctricos</u>	64
Figura 116.	<u>Cuñas de material aislante</u>	65
Figura 117.	<u>Barnizado de bobinas</u>	65
Figura 118.	<u>Verificación de ausencia de alimentación eléctrica</u>	71
Figura 119.	<u>Placa antivibratoria para motores eléctricos</u>	72
Figura 120.	<u>Verificación de correcto balanceo del motor y la maquina impulsada</u>	73
Figura 121.	<u>Motor de carcasa abierta</u>	74

Figura 122.	Verificación de la corriente en un motor trifásico	74
Figura 123.	Inspección de motor eléctrico	75
Figura 124.	Escobilla rota	76
Figura 125.	Resorte de escobillas	76
Figura 126.	Escobillas desgatadas	77
Figura 127.	Alambres de escobillas sueltos	78
Figura 128.	Posición de las escobillas dentro del Portaescobillas	78
Figura 129.	Colector desgastado	79
Figura 130.	Falla por contacto a tierra de una parte del devanado	81
Figura 131.	Falla por inundaciones	81
Figura 132.	Falla por rozamiento del rotor contra el estator	82
Figura 133.	Verificación de desbalance	83
Figura 134.	Curva de calentamiento	84
Figura 135.	Falla típica en radamiento	84
Figura 136.	Falla por contacto a tierra	86
Figura 137.	Cortocircuito entre espiras	86
Figura 138.	Detección de espiras en cortocircuito por medio de un growler	87
Figura 139.	Prueba de balance de fases en conexión estrella	88
Figura 140.	Prueba de balance de fases en conexión delta	89
Figura 141.	Comprobación de las conexiones con un rodamiento	90
Figura 142.	Voltajes inducidos en un devanado con una fase invertida	90
Figura 143.	Distribución incorrecta	91
Figura 144.	Verificación del voltaje en los devanados	92
Figura 145.	Conexión del devanado	93
Figura 146.	Prueba para localizar la fase con falta de continuidad utilizando un ohmiómetro. Conexión serie-estrella	94

Figura 147.	<u>Uso del ohmímetro para identificar la fase que tiene una rama abierta en un motor con conexión dos paralelos-estrella</u>	94
Figura 148.	<u>Prueba con el ohmiómetro para localizar una fase abierta. Conexión serie-delta</u>	95
Figura 149.	<u>Uso del ohmímetro para identificar la fase que tiene una rama abierta en un motor conectado en dos paralelos-delta</u>	95
Figura 150.	<u>Localización por medio de un voltímetro de un grupo de bobinas abierto</u>	97
Figura 151.	<u>Bobinas desconectadas</u>	98
Figura 152.	<u>Falla por interrupción en una fase</u>	99
Figura 153.	<u>Falla por cortocircuito en una bobina</u>	99
Figura 154.	<u>Verificando conexiones internas en motores eléctricos</u>	100
Figura 155.	<u>Rebobinación de motores eléctricos</u>	100
Figura 156.	<u>Reóstato</u>	101
Figura 157.	<u>Caja de bornes o terminales del motor</u>	102
Figura 158.	<u>Conexiones internas equivocadas</u>	103
Figura 159.	<u>Problema mecánico por eje torcido</u>	105
Figura 160.	<u>Verificación del estado de los cojinetes</u>	106
Figura 161.	<u>Laminas de verificación de espacio entrehierro</u>	106
Figura 162.	<u>Cojinete desgastado</u>	107
Figura 163.	<u>Rodamiento soldado al eje</u>	107
Figura 164.	<u>Inspección de esta zona estrecha del motor</u>	108
Figura 165.	<u>Desacople del motor de la carga impulsada</u>	109
Figura 166.	<u>Defecto por montaje</u>	109
Figura 167.	<u>Escudo con las pistas desgastadas</u>	110
Figura 168.	<u>Falla típica de cojinete por mal ajuste</u>	110
Figura 169.	<u>Revisión de chapas de un estator</u>	111

Figura 170.	<u>Ajuste de escobillas</u>	111
Figura 171.	<u>Anillos rozantes averiados por mal ajuste de escobillas</u>	112
Figura 172.	<u>Barras flojas</u>	113
Figura 173.	<u>Verificación de continuidad en las conexiones internas</u>	115
Figura 174.	<u>Chumacera defectuosa</u>	116
Figura 175.	<u>Bobinas abiertas</u>	117
Figura 176.	<u>Conexiones mal echas</u>	117
Figura 177.	<u>Verificación de fusibles</u>	118
Figura 178.	<u>Bobina defectuosa</u>	119
Figura 179.	<u>Delgas salidas</u>	122
Figura 180.	<u>Colector defectuoso</u>	123
Figura 181.	<u>Rotor desequilibrado</u>	123
Figura 182.	<u>Cuñas de bobinas</u>	124
Figura 183.	<u>Barras flojas</u>	125
Figura 184.	<u>Malas conexiones del devanado</u>	126
Figura 185.	<u>Bobinas cruzadas</u>	126
Figura 186.	<u>Medición de voltajes</u>	127
Figura 187.	<u>Bobinas con cortocircuito</u>	129
Figura 188	<u>Transformadores de una sub-estación eléctrica</u>	137
Figura 189	<u>Elementos Principales de un Transformador</u>	138
Figura 190.	<u>Núcleo de un Transformador</u>	139
Figura 191.	<u>Núcleo de un Transformador de estructura tipo núcleo</u>	139
Figura 192.	<u>Núcleo de un Transformador de estructura tipo acorazado</u>	140
Figura 193.	<u>Chapas con un chorro de vapor.</u>	143
Figura 194.	<u>Devanados de un Transformador Eléctrico</u>	143
Figura 195.	<u>Factor de relleno del cobre</u>	145
Figura 196.	<u>Clasificación general de los transformadores</u>	146

Figura 197.	<u>Transformador trifásico de potencia</u>	146
Figura 198.	<u>Transformador de Potencia</u>	147
Figura 199.	<u>Transformador de Potencia en baño de aceite y refrigerados por circulación natural del aire.</u>	148
Figura 200.	<u>Transformador de Potencia en baño de aceite y refrigerados por circulación forzada del aire.</u>	148
Figura 201.	<u>Transformadores de distribución en zona Urbana</u>	150
Figura 202.	<u>Transformador de distribución común</u>	151
Figura 203.	<u>Transformador de distribución Hermético</u>	152
Figura 204.	<u>Transformador de distribución Monofásico tipo Aéreo</u>	152
Figura 205.	<u>Transformador de distribución Trifásico tipo Aéreo</u>	153
Figura 206.	<u>Autotransformador típico de laboratorio</u>	154
Figura 207.	<u>Transformadores de Corriente</u>	156
Figura 208.	<u>Transformadores de corriente encapsulado en resina epoxi</u>	157
Figura 209.	<u>Transformador de Corriente en aceite</u>	157
Figura 210.	<u>Transformador de Potencial</u>	158
Figura 211.	<u>Transformadores de Potencial encapsulado en resina epoxi</u>	159
Figura 212.	<u>Transformadores de Potencial en aceite aislante</u>	159
Figura 213.	<u>Transformador conjunto de medición normalizado hasta clase 38KV</u>	160
Figura 214.	<u>Equipo Compacto de Medida 2 Elementos</u>	160
Figura 215.	<u>Transformador de Protección</u>	161
Figura 216.	<u>Transformador ideal</u>	162
Figura 217.	<u>Voltajes de un transformador ideal</u>	163
Figura 218.	<u>Partes de un Transformador Eléctrico</u>	166
Figura 219.	<u>Tipo AA enfriamiento por aire</u>	167
Figura 220.	<u>Transformador trifásico</u>	168

Figura 221.	<u>Boquillas de alta y baja tensión</u>	169
Figura 222.	<u>Caja de conexiones de un transformador eléctrico</u>	170
Figura 223.	<u>Válvula de sobrepresión</u>	171
Figura 224.	<u>Relé de protección del Cambiador de tomas bajo carga</u>	172
Figura 225.	<u>Transformador de Potencia con sus partes principales</u>	173
Figura 226.	<u>Transformador trifásico con sistema de refrigeración de enfriamiento con agua</u>	173
Figura 227.	<u>Unidad productora de Aceite Aislante y Refrigerante</u>	177
Figura 228.	<u>Enfriamiento del núcleo y bobinas por circulación de aceite</u>	178
Figura 229.	<u>Seguimiento de los gases disueltos en los aceites</u>	183
Figura 230.	<u>Análisis de gases del aceite aislante y refrigerante</u>	184
Figura 231.	<u>Relaciones Comparativas De La Evolución De Los Gases Generados En El Aceite, En Función De La Energía Disipada En El Proceso De Fallas</u>	186
Figura 232.	<u>Indicadores de falla en transformadores por el método de Domenburg</u>	187
Figura 233.	<u>Indicadores de falla en transformadores por el método de Duval</u>	188
Figura 234.	<u>Señales detectadas acústicamente en la cuba del cambiador de derivaciones del autotransformador.</u>	203
Figura 235.	<u>Espectros de frecuencia</u>	204
Figura 236.	<u>Registro de una Señal de un cambiador de Derivaciones con carga, durante la Operación.</u>	205
Figura 237.	<u>Mayor detalle de la operación del diverter switch</u>	206
Figura 238.	<u>Inspección termográfica de un Transformador</u>	208
Figura 239.	<u>Generador síncrono</u>	209
Figura 240.	<u>Circuito equivalente de un generador alimentado con una fuente de corriente directa (CD)</u>	214

Figura 241.	<u>Circuito equivalente del generador síncrono trifásico</u>	215
Figura 242.	<u>Armadura simplificada de generador</u>	216
Figura 243.	<u>Rotor simplificado de un generador</u>	217
Figura 244.	<u>Generador de polos salientes</u>	219
Figura 245.	<u>Rotor cilíndrico del generador</u>	219
Figura 246.	<u>Autoventilación</u>	221
Figura 247.	<u>Fotografía de un generador totalmente cerrado con enfriamiento de aire a agua</u>	222
Figura 248.	<u>Sistema de conmutador de corriente de excitación</u>	223
Figura 249.	<u>Generador de corriente alterna con sistema rectificador estacionario de excitación</u>	224
Figura 250.	<u>Generador de corriente alterna con sistema rectificador rotatorio (sin escobillas) de excitación</u>	225
Figura 251.	<u>Sistema estático de excitación</u>	226
Figura 252.	<u>Generadores de inducción</u>	227
Figura 253.	<u>Rotor jaula de ardilla</u>	228
Figura 254.	<u>Generador de corriente directa (CD)</u>	229
Figura 255.	<u>Espira girando en un campo magnético</u>	230
Figura 256.	<u>Proceso de conmutación</u>	231
Figura 257.	<u>Anillo colector</u>	231
Figura 258.	<u>Ondulación de la tensión</u>	232
Figura 259.	<u>Estator de un generador de corriente directa (CD)</u>	233
Figura 260.	<u>Rotor de un generador de corriente directa (CD)</u>	234
Figura 261.	<u>Acoplamiento motor/generador</u>	237
Figura 262.	<u>Rodamientos de esferas y rodillos</u>	238
Figura 263.	<u>Medición de niveles de sonido</u>	239
Figura 264.	<u>Extractor de rodamientos</u>	240

Figura 265.	Balanceo de Rotor	242
Figura 266.	Cojinete antifricción	243
Figura 267.	Medidor de nivel de sonido	243
Figura 268.	Dreno del rodamiento	246
Figura 269.	Cojinete falta de lubricación	247
Figura 270.	Cojitene de fricción	247
Figura 271.	Engranajes	248
Figura 272.	Analizadores de vibraciones	249
Figura 273.	Problemas en los devanados	253
Figura 274.	Herramientas de medición	253
Figura 275.	Conteo de ranuras estatóricas	255
Figura 276.	Bobinado del estator	255
Figura 277.	Revisión de conexiones del bobinado	256
Figura 278.	Espiras de una bobina	256
Figura 279.	Paso de bobina	257
Figura 280.	Aislamiento en las ranuras del estator	257
Figura 281.	Conductor empleado en la bobina	258
Figura 282.	Reconocimiento de los polos del generador	258
Figura 283.	Estator	259
Figura 284.	Excitatriz ó campo de excitación del generador	259
Figura 285.	Mantenimiento en el estator	260
Figura 286.	Mantenimiento en el rotor	261
Figura 287.	Generador armado para pruebas	262
Figura 288.	Generador ensamblado	263
Figura 289.	Polarización Del Diodo	265
Figura 290.	Revisión Del Rodamiento	266
Figura 291.	Generador	269

Figura 292.	<u>Cámaras de infrarrojos</u>	270
Figura 293.	<u>Lectura Infrarroja</u>	271
Figura 294.	<u>Boceto de introducción</u>	274
Figura 295.	<u>Macromedia Flash MX 2004</u>	274
Figura 296.	<u>Corel Draw 10</u>	275
Figura 297.	<u>Macromedia Dreamweaver MX 2004</u>	275
Figura 298.	<u>Macromedia Fireworks</u>	276
Figura 299.	<u>Pantalla de presentación</u>	278
Figura 300.	<u>Pantalla de inicio de la aplicación</u>	278
Figura 301.	<u>Pantalla aleatoria de motores</u>	279
Figura 302.	<u>Pantalla de diseño de Botones</u>	279
Figura 303.	<u>Barra de navegación</u>	280

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 2. <u>Distribución de las partes principales de un motor de CD</u>	37
Tabla 3. <u>Temperatura Máxima Permisible Para Aislamientos Eléctricos</u>	66
Tabla 4. <u>Condiciones de funcionamiento satisfactorias</u>	68
Tabla 5. <u>Efectos por reducción de la frecuencia</u>	69
Tabla 6. <u>Efectos por aumento o reducción de voltaje</u>	69
Tabla 7. <u>Características comunes a la mayoría de estos transformadores</u>	149
Tabla 8. <u>Aplicaciones de Autotransformadores</u>	154
Tabla 9. <u>Características de los transformadores de corriente</u>	156
Tabla 10. <u>Características de los transformadores de Potencial</u>	158
Tabla 11. <u>Plan de mantenimiento</u>	271

INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años se ha notado como la energía eléctrica ha ocupado un lugar de vital importancia en el desarrollo de la industria valiéndose de diversos dispositivos como generadores, transformadores y motores eléctricos que han permitido su generación, transformación y accesibilidad para sus múltiples aplicaciones; requiriendo así de un correcto mantenimiento que garantice la permanencia y correcto funcionamiento de los mismos.

La Ingeniería de Mantenimiento ha evolucionado en el transcurso del tiempo mientras se ha ido desarrollando la actividad industrial en el mundo.

Desde los inicios del desarrollo de las primeras máquinas, para satisfacer las necesidades del hombre en sus diferentes actividades; empezaron a aparecer averías en ellas. Cada máquina era reparada según el instinto de los propios operarios; A medida que aumentó la complejidad de los equipos surgieron fallas que desconcertaban al personal de mantenimiento, se desconocían las causas de los problemas y consecuentemente sus soluciones. De esta forma empezaron a realizarse interrupciones en la producción y los costos de mantenimiento crecían constantemente, disminuyendo así la productividad y la efectividad en las empresas.

De esta forma empezaron a surgir diferentes modos de gestión de mantenimiento, en los cuales la constante era la inspección periódica de los equipos para detectar posibles anomalías, plantear sus posibles causas, para desarrollar modelos de solución de las mismas.

Aunque se cuenta con una gran diversidad de fuentes de información para el análisis de problemas de mantenimiento en generadores, transformadores, motores eléctricos; estas se encuentran en forma dispersa y su obtención es compleja y lenta, lo que produce pérdidas de tiempo y elevados costos.

Con el desarrollo de este Software Tutorial se pretende aportar una herramienta a la Ingeniería de Mantenimiento para ofrecer al estudiante de Ingeniería y de Postgrado de la Universidad Industrial de Santander un instrumento didáctico que le brinde y le facilite el aprendizaje de los conceptos básicos del Análisis de problemas de mantenimiento de estos equipos.

El Software Tutorial está diseñado de una forma pedagógica de tal manera que permite al estudiante acceder a las diferentes secciones de una forma interactiva. Las secciones que hacen parte del software tutorial para el Análisis de problemas de mantenimiento en Generadores, transformadores, Motores Eléctricos son:

1. Generalidades: En esta sección se muestra cronológicamente la historia de la electricidad, la historia del motor, el transformador y el generador eléctrico; resaltando en cada una de ellas los acontecimientos especiales, ordenados y los principios físicos descubiertos.

2. Motores Eléctricos: En esta sección se tratan los conceptos básicos, clasificación, principios de funcionamiento, partes principales y finaliza con el análisis de problemas de mantenimiento, brindando al usuario la información, en una forma de fácil comprensión y acceso rápido.

3. Transformadores eléctricos: En esta sección se tratan los conceptos básicos, clasificación, principios de funcionamiento, partes principales y finaliza con el análisis de problemas de mantenimiento, permitiendo al usuario profundizar en el conocimiento adquirido con el uso de hipervínculos, video y figuras interactivas.

4. Generadores eléctricos: En esta sección se tratan los conceptos básicos, clasificación, principios de funcionamiento, partes principales y finaliza con el análisis de problemas de mantenimiento, el usuario podrá analizar y comprender de una forma interactiva lo expuesto en el capítulo.

1. GENERALIDADES

1.1 HISTORIA DE LA ELECTRICIDAD

Aparentemente la primera observación científica de los efectos eléctricos la realizó Tales de Mileto (Figura 1), en el año 600 antes de Cristo. Vió que unas briznas de pasto seco se adherían a un trozo de ámbar cuando éste había sido frotado.

Figura 1. Tales De Mileto



Fuente: www.contenidos.com/fisica/electricidad/body_talesdemileto.htm

Sin embargo fue el filósofo Griego Theophrastus (374-287 AC) el primero, que en un tratado escrito tres siglos después, estableció que otras sustancias tenían este mismo poder, dejando así constancia del [primer estudio científico sobre la electricidad](#), (Figura 2)*.

Mil años después, exactamente en 1660, fue el médico y físico inglés William Gilbert (Figura 3), quien estudió estos efectos, y tomando la palabra griega

* Todas las figuras mencionadas después de los hipervínculos se encuentran en el archivo PDF del CD

[elektron](#) (ámbar), llamó a esas sustancias eléctricas. Tratándose de un efecto al parecer estable, a menos que se le perturbara terminó denominándola [electricidad estática](#), o carente de movimiento.

Figura 3. William Gilbert



Fuente: www.contenidos.com/fisica/electricidad/body_williamgilbert.htm

Gilbert había escrito un libro sobre el tema del [magnetismo](#), fue en 1600 y se llamó "De Magnete". También Tales había estudiado el fenómeno, pero pasaría un tiempo antes de que los físicos se dieran cuenta que se trataba de un mismo fenómeno, William Gilbert realizó un estudio sobre los imanes como petición de la reina Elizabeth I, para mejorar la exactitud de las brújulas de navegación (Figura 4).

Figura 4. Brújula de Gilbert

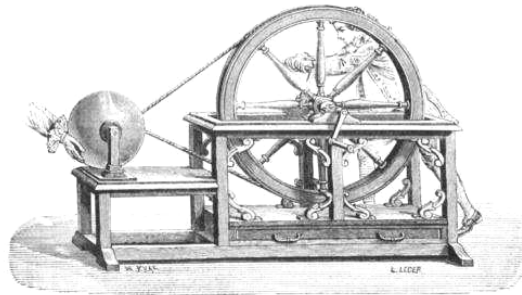


Fuente: www.contenidos.com/fisica/electricidad/body_brujula.htm

Tanto la electricidad como el magnetismo pasarían a formar el electromagnetismo. Mientras tanto, se intentaba descubrir los secretos de este extraño fenómeno, y desentrañar el mecanismo oculto tras la electricidad.

El Físico Alemán Otto Von Guericke (1602-1686) desarrolló la primera máquina electrostática, (Figura 5) para producir cargas eléctricas. Máquina que consistía de una esfera de azufre torneada, con una manija a través de la cual, la carga es inducida al pasar la mano sobre la esfera.

Figura 5. Máquina electrostática de Otto Von Guericke



Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ElectricidadCronol.htm>

En 1733 el francés Charles-François de Cisternay du Fay, descubrió que dos bolas de corcho cargadas de la misma manera se repelían. Pero si cargaba cada una por medios diferentes, lograba que a veces se atrajeran; por ejemplo si cargaba una frotándola con una vara de resina y a la otra con una de vidrio. Este fenómeno de atracción y repulsión parecía indicar dos naturalezas distintas. Cisternay du Fay creía que la electricidad era un fluido, y determinó que este existía en dos tipos: Resinoso o vítreo.

En 1745 se desarrolla lo que daría paso al Condensador Eléctrico, la botella de Leyden (Figura 6), por E. G. Von Kleist (1700-1748) y Pieter Van

Musschenbroeck (1692-1761) en la Universidad de Leyden, con esta botella se almacenó electricidad estática.

Figura 6. Botella de Leyden



Fuente: <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ElectricidadCronol.htm>

En el año 1747 Benjamín Franklin (Figura 7), propuso que no había dos tipos de fluidos, sino uno, el cual podía presentarse en exceso o en defecto.

Figura 7. Benjamín Franklin



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En esto se acercaba más Cisternay du Fay a la verdad que Franklin. Pero rebautizó al fluido como "electricidad negativa" si faltaba para el equilibrio, y "electricidad positiva" al exceso. Estos nombres perduran hasta hoy, pero con una comprensión distinta del fenómeno que la de un fluido.

En 1766 el Químico Joseph Priestley (Figura 8), prueba que la fuerza que se ejerce entre las cargas eléctricas varía inversamente proporcional a la distancia que la separan, demostrando que la carga eléctrica se distribuye uniformemente en la superficie de una esfera hueca, y que en el interior de la misma, no hay un campo eléctrico, ni una fuerza eléctrica.

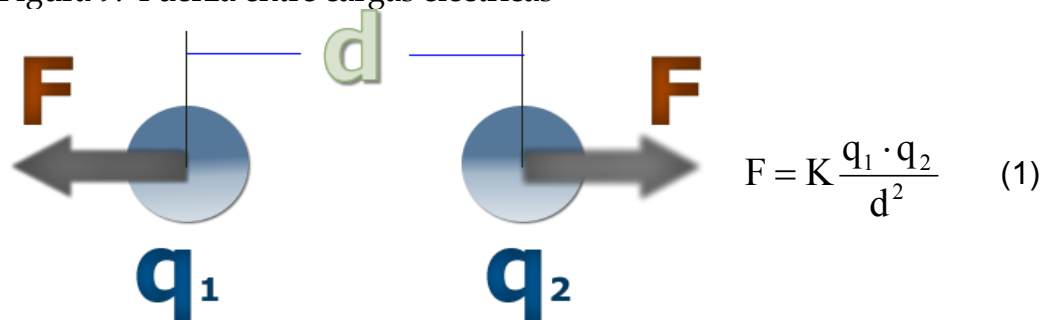
Figura 8. Joseph Priestley



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

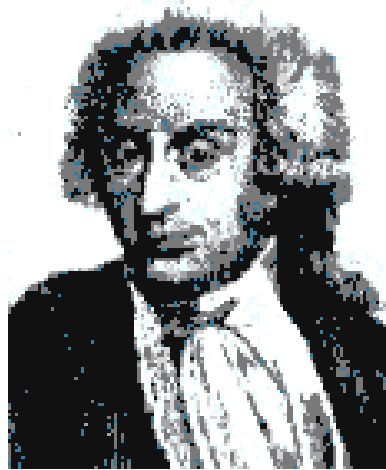
En 1776 Charles Agustín de Coulomb inventó la balanza de torsión con la cual, midió con exactitud la fuerza entre las cargas eléctricas (Figura 9), y corroboró que dicha fuerza era proporcional al producto de las cargas individuales e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

Figura 9. Fuerza entre cargas eléctricas



Luigi Galvani (Figura 10), un anatomista italiano, observó por primera vez que una descarga eléctrica sobre las patas de una rana muerta producía contracciones de los músculos afectados.

Figura 10. Luigi Galvani



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

Galvani creyó que la electricidad así producida se generaba en el músculo, observación que resultó errónea, pero no sería él quien descubriera el error.

En 1800, Alessandro G. Volta, supuso lo contrario, es decir que era el contacto entre metales distintos lo que generaba la electricidad.

Esta idea fue el comienzo de una gran revolución en el tema. Dicha hipótesis pudo comprobarse inmediatamente y le permitió dos grandes avances:

- ✓ Construir el primer dispositivo químico generador de electricidad, que denominó batería eléctrica, hoy llamada pila (Figura 11).
- ✓ Obtener por primera vez en la historia una corriente continua y suficientemente estable. Ya no se dependía de la estática.

Figura 11. Pila de Alessandro Volta



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1812 el matemático Francés Simeón-Denis Poisson (Figura 12), publicó su trabajo más importante relacionado con la aplicación matemática a la Electricidad y Magnetismo, describiendo las leyes de la electrostática.

Figura 12. Simeón-Denis Poisson



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1820, se había dado un gran salto en la comprensión acerca de la relación entre la electricidad y el magnetismo. En ese año el físico danés Hans Christian Oersted (Figura 13), demostró que una corriente generaba un [campo magnético](#), (Figuras 14-19).

Figura 13. Hans Christian Oersted

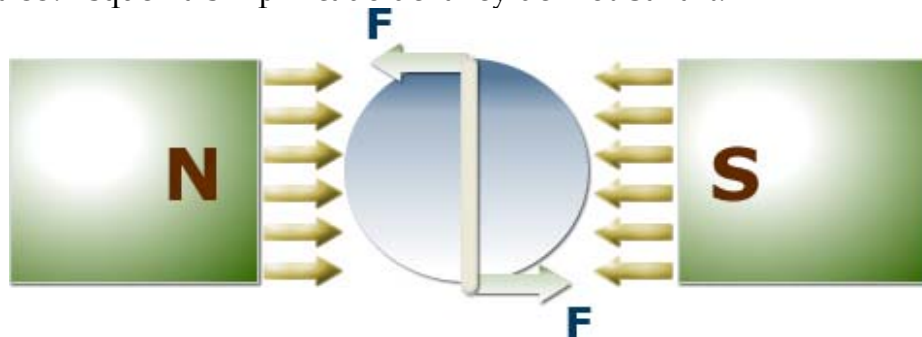


Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

Oersted Es la medida de la [reluctancia magnética](#), (Figura 20).

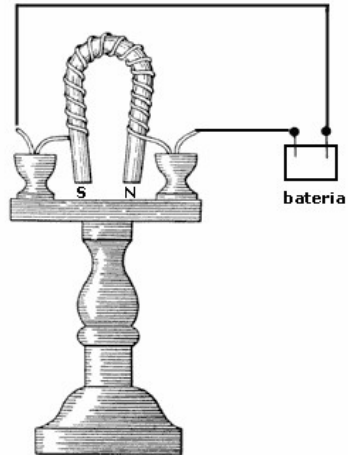
En 1821 Jean-Baptiste Biot y Félix Savart Franceses, determinan la conocida ley de Biot-Savart (Figura 33) mediante la cual, calculan la fuerza que ejerce un [campo magnético](#) sobre una [carga eléctrica](#), (Figuras 21-25) y definen que la intensidad del campo magnético producido por una [corriente eléctrica](#) (Figuras 26-32), es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Figura 33. Esquema simplificado de la ley de Biot-Savart.



En 1822 William Sturgeon (1753-1850) Inglés construye el primer electroimán (Figura 34). El primero de ellos pudo levantar un peso de 4 Kg.

Figura 34. Primer electroimán



Fuente: http://iabot.iespana.es/iabot/ciencia/futuras/haz_tractor/haz_tractor.htm

André Marie Ampère (Figura 35) demostró que un solenoide (cable enrollado en forma de resorte) aumentaba considerablemente el campo magnético generado, en proporción directa con el número de vueltas que se le diera al cable.

Figura 35. André Marie Ampère



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

Así, desde la pila de Volta, que permitió trabajar con una corriente, los descubrimientos se desencadenaron velozmente:

El año siguiente al descubrimiento de Oersted. Michael Faraday, otro hombre importante para la ciencia, aportó la idea fundamental de la física moderna, por primera vez para describir una fuerza electromagnética se hablaba de [campo](#).

1827 Georg Simon Ohm (Figura 36), definió la resistencia eléctrica y propuso la ley que lleva su nombre: Ley de Ohm.

Figura 36. Georg Simon Ohm



$$R = \frac{V}{I} \quad (25)$$

Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

R: Resistencia Eléctrica

V: Voltaje

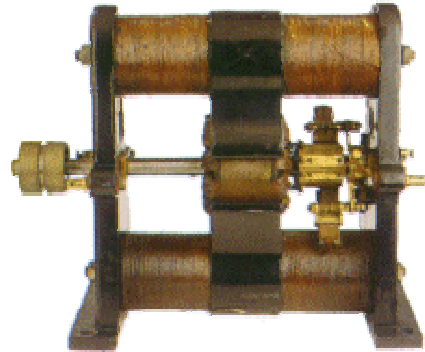
I: Corriente Eléctrica

1831 Faraday desarrolla el transformador y el generador eléctrico (Figura 37). Joseph Henry crea el motor eléctrico y desarrolla un electroimán que levanta una tonelada de hierro.

Figura 37. Primeros desarrollos científicos de Faraday

(a) Transformador eléctrico

(b) generador eléctrico



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1835 Samuel F. B. Morse (1791-1867), mientras regresaba de uno de sus viajes, concibe la idea de un simple circuito electromagnético para transmitir información, *El Telégrafo*.

En 1835 construye el primer telégrafo, en la Figura 38 puede verse los dos componentes tanto el receptor como el transmisor del mismo. En 1837 se asocia con Henry y Vail con el fin de obtener financiamiento del Congreso de USA para su desarrollo, fracasa el intento, prosigue solo, obteniendo el éxito.

Figura 38. Transmisor y receptor desarrollados 1844 por Morse. Museo Smithsonian

(a) Transmisor

(b) Receptor.



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1843, cuando el congreso le aprueba el desarrollo de una línea de 41 millas desde Baltimore hasta el Capitolio en Washington DC.

La cual construye en 1844.

En 1840-42 James Prescott Joule Físico Inglés, quien descubrió la equivalencia entre trabajo mecánico y la caloría, y el científico Alemán Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz (Figura 39), quien definió la primera ley de la termodinámica demostraron que los circuitos eléctricos cumplían con la ley de la conservación de la energía y que la Electricidad era una forma de Energía.

Figura 39. Demostraron la conservación de la Energía en circuitos

(a) Joule



(b) Helmholtz



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

P: Potencia Eléctrica

R: Resistencia Eléctrica

I: Corriente Eléctrica

$$P = I^2 * R \quad (26)$$

En 1845 Gustav Robert Kirchhoff (Figura 40), Físico Alemán a los 21 años de edad, anunció las leyes que permiten calcular las corrientes, y tensiones en redes eléctricas. Conocidas como Leyes de Kirchhoff I y II.

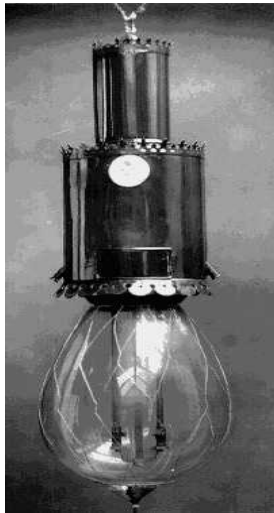
Figura 40. Gustav Robert Kirchhoff



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1847 William Staite Inglés recibió el crédito por el desarrollo de la Lámpara de Arco (Figura 41). Estas lámparas fueron comercialmente utilizadas a partir de 1876 con las mejoras introducidas por el Ruso Paul Jablochhoff.

Figura 41. Lámpara de Arco



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1854 El matemático Inglés William Thomson (Lord Kelvin) (Figura 42), con su trabajo sobre el análisis teórico sobre transmisión por cable, hizo posible el desarrollo del cable trasatlántico.

Figura 42. Lord Kelvin



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1859 El Científico Alemán Julius Plücker (Figura 43) descubrió los Rayos Catódicos.

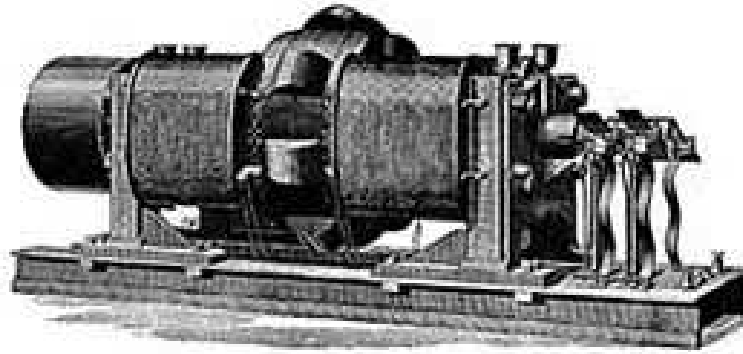
Figura 43. Julius Plücker



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1868 El Científico Belga Zénobe-Théophile Gramme construyó la primera máquina de corriente continua, *El Dinamo* (Figura 44) punto de partida de la nueva industria eléctrica. En 1870 patentó la teoría de la Máquina magneto-eléctrica para producir [corriente continua](#).

Figura 44. Dínamo de Gramme



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1870 James Clerk Maxwell (Figura 45) Matemático Inglés formuló las cuatro ecuaciones que sirven de fundamento de la [teoría Electromagnética](#). Dedujo que la Luz es una onda electromagnética, y que la energía se transmite por ondas electromagnéticas a la velocidad de la Luz.

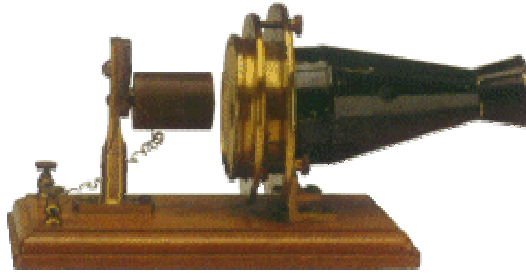
Figura 45. James Clerk Maxwell



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1876 Alexander Graham Bell Escocés-Americano inventó el Teléfono, (Figura 46).

Figura 46. Primer teléfono de Graham Bell



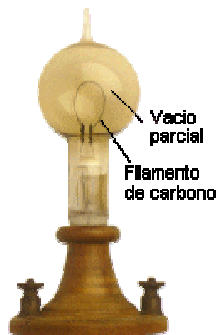
Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1879 el Físico Inglés Joseph John Thomson (1856-1940) demostró que los rayos catódicos estaban constituido de partículas atómicas de carga negativas la cual el llamo "Corpúsculos" y hoy en día los conocemos como *Electrones*.

En 1881 Thomas Alva Edison (1847-1931) produce la primera Lámpara Incandescente con un filamento de algodón carbonizado (Figura 47). Este filamento permaneció encendido por 44 horas.

En 1881 desarrolló el filamento de *bambú* con 1.7 lúmenes por vatios. En 1904 el filamento de *tungsteno* con una eficiencia de 7.9 lúmenes por vatios. En 1910 la lámpara de 100 w con rendimiento de 10 lúmenes por vatios. Hoy en día, las lámparas incandescentes de filamento de tungsteno de 100 w tienen un rendimiento del orden de 18 lúmenes por vatios.

Figura 47. Primera lámpara de filamento



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1882 Edison instaló el primer sistema eléctrico para vender energía para la iluminación incandescente, en los Estados Unidos para la estación *Pearl Street* de la ciudad de NEW YORK.

El sistema fue en Corriente Directa (CD) tres hilos, 220-110 v con una potencia total de 30 Kw.

En 1884 Heinrich Rudolf Hertz (Figura 48) demostró la validez de las [ecuaciones de Maxwell](#) y las reescribió, en la forma que hoy en día es conocida.

En 1888 Hertz recibió el reconocimiento por sus trabajos sobre las Ondas Electromagnéticas: propagación, polarización y reflexión de ondas.

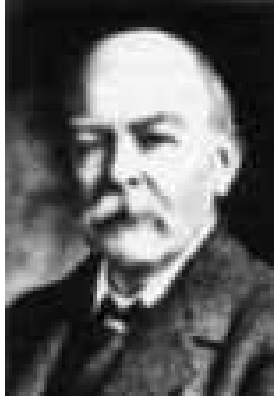
Figura 48. Heinrich Rudolf Hertz



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1884 John Henry Poynting (Figura 49) Físico Inglés, alumno de Maxwell. Publicó un artículo en el cual demostró que el flujo de Energía podía calcularse mediante una ecuación que representa la interrelación entre el [campo Eléctrico](#) y Magnético (Figuras 50-51). Ecuación que representa el llamado Vector de Poynting.

Figura 49. John Henry Poynting

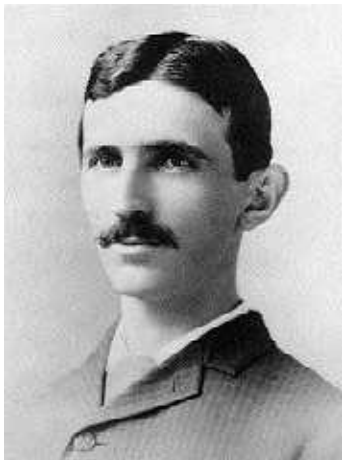


Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

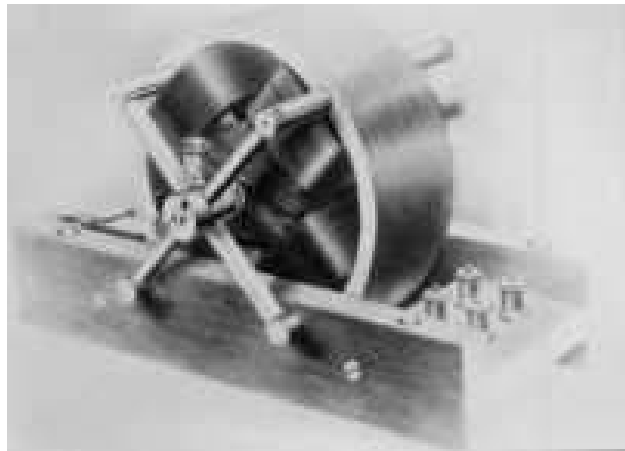
En la Figura 52 (a) Nikola Tesla Serbio-Americano inventor e investigador quien desarrolló la teoría de campos rotantes, base de los generadores y motores polifásicos de corriente alterna, en la Figura 52 (b) puede verse el primer motor de corriente alterna de Nikola Tesla. A Tesla se le puede considerar, sin ninguna duda, como padre del sistema eléctrico que hoy en día disfrutamos.

Figura 52. Pionero del sistema eléctrico actual

(a) Nikola Tesla



(b) Primer motor eléctrico de corriente alterna



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

Los derechos de sus patentes sobre sus sistemas de corriente alterna, en transformadores, motores y generadores, los vendió a George Westinghouse (Figura 53) fundador de *Westinghouse Company*, pionera en el desarrollo comercial de la corriente alterna.

En 1893 en la feria de Chicago Westinghouse y Tesla presentaron todo un sistema eléctrico en Corriente Alterna (CA.) a escala a fin de demostrar sus bondades.

Figura 53. George Westinghouse



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

En 1895 Westinghouse pone en servicio la Primera planta de Generación de Electricidad comercial en Corriente Alterna CA (Figura 54). La Planta del Niagara.

Figura 54. Primera Planta De Generación

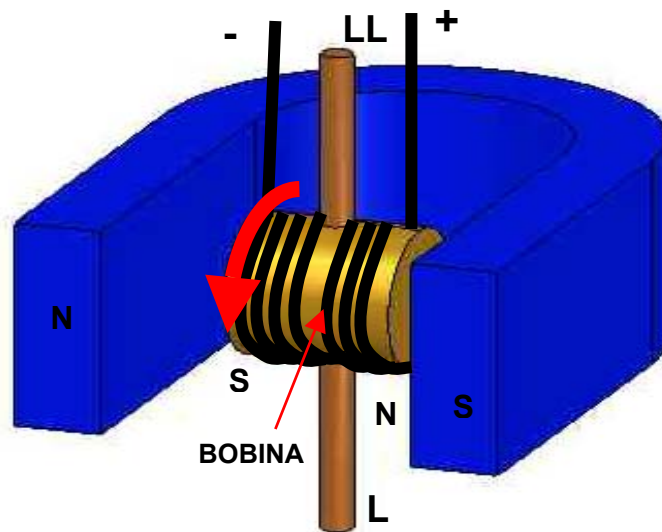


Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

1.2 HISTORIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

El descubrimiento de Oersted en 1820, de que una corriente eléctrica podía generar un campo magnético a su alrededor, sentó las bases para la invención del primer motor eléctrico, (Figura 55). Su funcionamiento es el siguiente. Supóngase que se enrolla una bobina alrededor de un cilindro de hierro y que ésta se fija en un eje LL, alrededor del cual puede girar.

Figura 55. Primer motor eléctrico



Si metemos la bobina dentro de los polos de un imán permanente y se hace pasar una corriente eléctrica por ella, ésta se vuelve un imán que puede girar dentro del imán permanente. Los polos de los imanes ejercen fuerzas entre sí; por consiguiente, la bobina experimenta fuerzas que la hacen girar alrededor del eje LL. Si se conecta adecuadamente el eje, por medio de poleas y bandas, se puede aprovechar el giro de la bobina y realizar trabajo mecánico. De esta manera es posible transformar la energía eléctrica de la batería en energía

mecánica para mover algún objeto. Al dispositivo que funciona de esta forma se le llama motor eléctrico.

En 1837 L. Davenport construyó el primer motor eléctrico para uso industrial. Alrededor de 1845 Charles Wheatstone reemplazó el imán permanente del motor por un electroimán, accionado por una batería externa, logrando un motor más efectivo. Posteriormente se fueron añadiendo diferentes mejoras, pero el principio básico de su funcionamiento era el mismo que hemos descrito.

Posteriormente El Científico Belga Zénobe-Théophile Gramme diseñó un motor que fue un éxito comercial (Figura 56). Consta de tres partes principales: estator, rotor y sistema conmutador-escobillas.

La corriente eléctrica pasa por el embobinado del estator y lo convierte en un electroimán. El rotor es un electroimán múltiple en el que el sistema conmutador-escobillas secuencialmente selecciona y electriza una zona.

Figura 56. Motor eléctrico de Gramme.



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

La atracción que se produce entre los polos del estator y la zona electrizada provoca el movimiento de rotación. Este motor era reversible y podía utilizarse como un dínamo generador de corriente eléctrica.

1.3 HISTORIA DEL TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

En 1831 cuando ya se habían realizado los primeros estudios de los fenómenos electromagnéticos, con el descubrimiento de Oersted del flujo magnético y en tanto que Michael Faraday se encontraba sentando las bases del principio de inducción electromagnética, y desarrollando las primeras aplicaciones de estos fenómeno, construyó un anillo de hierro dulce con dos bobinas de alambre de cobre arrolladas sobre él y separadas por bramante y calicó como se muestra en la Figura 57.

Figura 57. Primer Transformador Eléctrico, construido por Faraday



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

Éste anillo fue el primer transformador en la historia, aunque Faraday no lo pudo emplear como tal porque no disponía de corriente alterna. Sus descubrimientos los hizo swithcheando una batería.

1.4 HISTORIA DEL GENERADOR ELETRICO.

Los generadores eléctricos, son un grupo de aparatos que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica, con medios electromagnéticos. A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dínamo. Dos principios físicos relacionados entre sí sirven de base al funcionamiento de los generadores. El primero es el principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday (1791-1867) en 1831 (Figura 58).

Figura 58. Michael Faraday

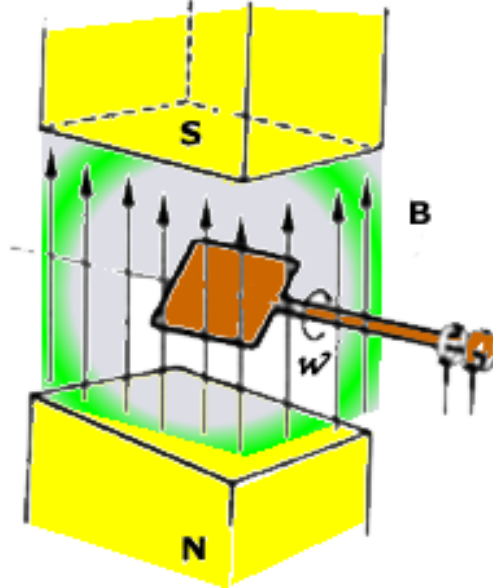


Fuente: <http://sprott.physics.wisc.edu/images>

Michael Faraday a los 14 años trabajaba como encuadernador, lo cual le permitió tener el tiempo necesario para leer y desarrollar su interés por la Física y Química. A pesar de su baja preparación formal, dio un paso fundamental en el desarrollo de la electricidad al establecer que el magnetismo produce electricidad a través del movimiento.

Si un conductor se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de un circuito de conducción fijo cuya intensidad puede variar, se establece o se induce una corriente en el conductor, (Figura 59).

Figura 59. Conductor En Un Campo Magnético



El principio opuesto a éste fue observado en 1820 por el físico francés André Marie Ampère (Figura 60).

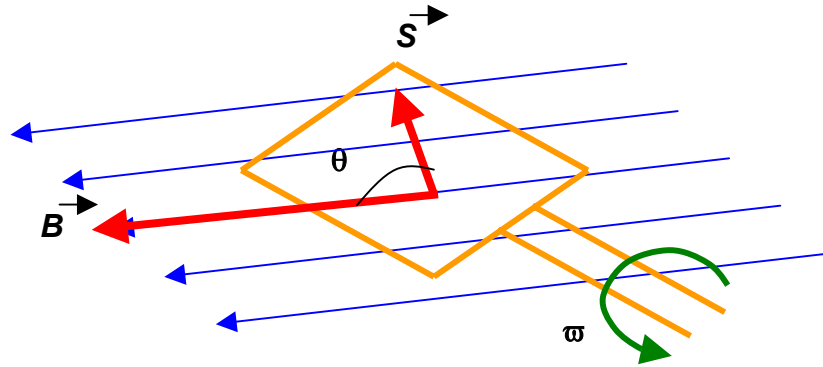
Figura 60. André Marie Ampère



Fuente: <http://www.corrosion-doctors.org/Biographies/AmperBio.htm>

Si una corriente pasaba a través de un conductor dentro de un campo magnético, éste ejercía una fuerza mecánica sobre el conductor, (Figura 61).

Figura 61. Corriente Pasando A través De Un Conductor En Un Campo Magnético

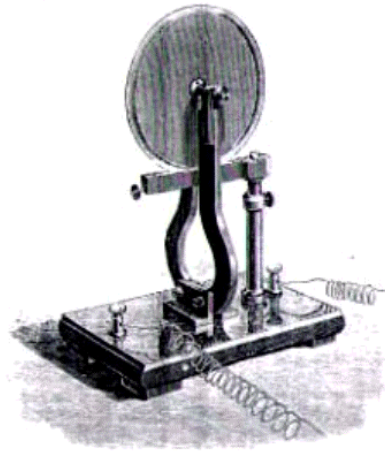


Analizando las consecuencias de la Ley de Ampere, y tras un experimento fallido en el que supuso que una corriente que circulara cerca de un circuito eléctrico induciría otra corriente en él, decidió sustituir la corriente por un imán y encontró que su movimiento cerca de un circuito eléctrico creaba en éste una corriente. Había descubierto que el trabajo mecánico empleado en mover un imán podía transformarse en corriente eléctrica.

Faraday con estos descubrimientos hizo posible la invención del generador eléctrico o dinamo. La máquina dinamoeléctrica más sencilla es la dinamo de disco desarrollada por Faraday, que consiste en un disco de cobre que se monta de tal forma que la parte del disco que se encuentra entre el centro y el borde quede situada entre los polos de un imán de herradura.

Cuando el disco gira, se induce una corriente entre el centro del disco y su borde debido a la acción del campo del imán. (Figura 62).

Figura 62. Dinamo De Faraday



Fuente: http://www.acenor.cl/acenor/pag.gral/documentos/Historia_Electricidad.htm

El campo magnético de un imán permanente es lo suficientemente fuerte como para hacer funcionar una sola dinamo pequeña. Por ello, los electroimanes se emplean en máquinas grandes. Tanto los motores como los generadores tienen dos unidades básicas: el campo magnético, que es el electroimán con sus bobinas, y la armadura, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente inducida en un generador. La armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan en bobinas los cables conductores.

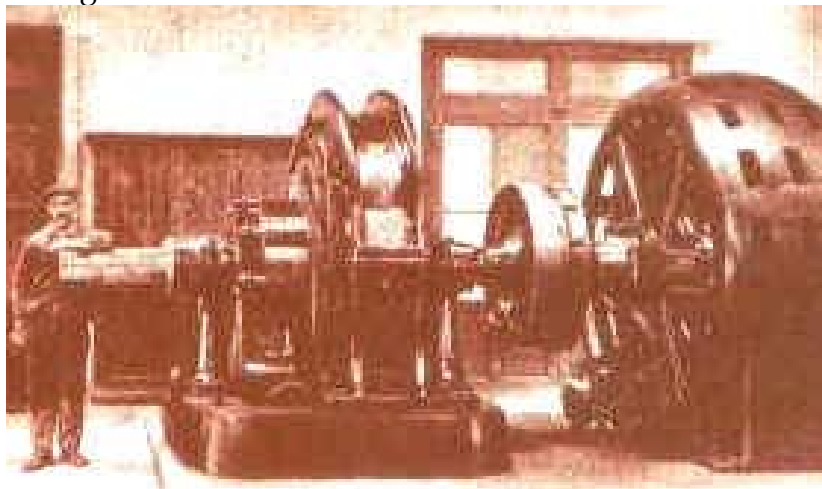
Una espira gira impulsada por algún medio externo en el seno de un campo magnético uniforme creado por un imán. A medida que gira la espira, el flujo magnético que pasa a través de ella va variando con el tiempo, ya que el ángulo que forma la superficie de la espira y la dirección del campo magnético varía.

La variación del flujo electromagnético induce una fuerza electromotriz y si existe un circuito externo, circulará una corriente eléctrica.

Hemos conseguido transformar el trabajo externo, (que puede provenir del movimiento de una turbina por el paso de agua, aire, vapor), en electricidad. En todo proceso de producción de electricidad a partir de cualquier otra fuente de energía, dicha transformación se produce en un generador eléctrico de características similares al anterior.

Las baterías eléctricas eran complicadas, costosas y de exigente mantenimiento. Los postulados de Faraday, en 1831, condujeron, durante la década 1870 - 80, a la puesta a punto en Europa, de una máquina de dimensiones prácticas, capaz de operar por extensos períodos sin sobrecalentamientos peligrosos y de producir corriente esencialmente continua; era la dínamo. La dínamo fue utilizada en alimentación de lámparas de arco para alumbrado, reemplazó a las baterías en procesos de electroplateado y fue utilizada en barcos. En la Figura 63 podemos ver uno de los primeros generadores utilizados.

Figura 63. Antiguo Generador

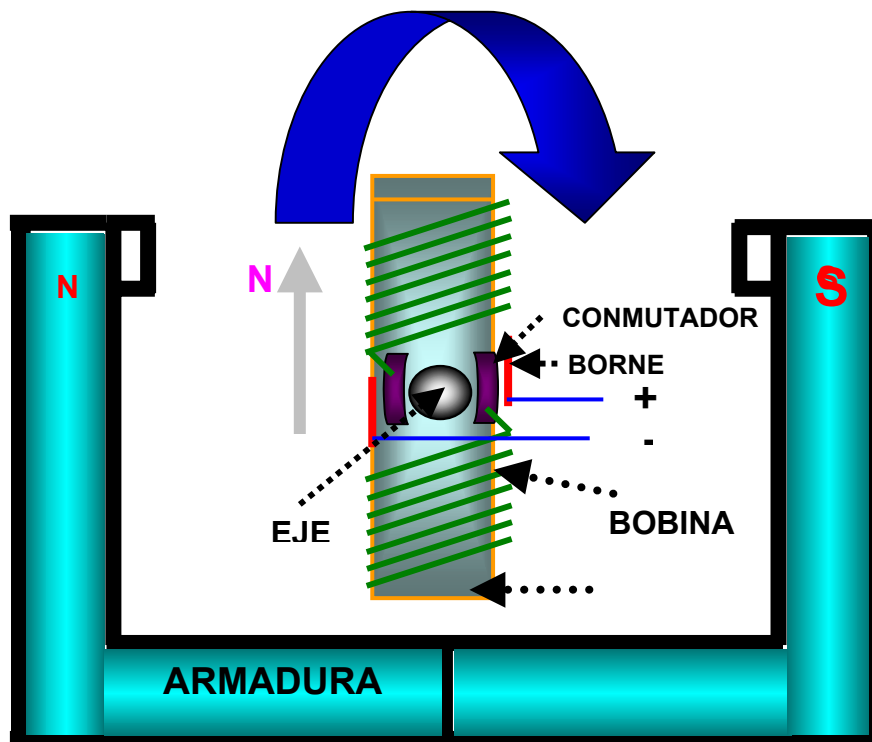


Fuente: http://centros6.pntic.mec.es/cea.pablo.guzman/lecciones_fisica/la_energia.htm

2. MOTORES ELÉCTRICOS

Un motor eléctrico es una máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica. Cuando la electricidad proveniente de una batería u otra fuente de energía se conecta a un motor, se consigue que el eje comience a girar (Figura 64).

Figura 64. Esquema simplificado de un motor eléctrico



Hay motores que funcionan con una fuente de corriente directa (CD) como una batería, y hay otros que lo hacen con una fuente de corriente alterna (CA). Si bien existen muchos diseños de motores eléctricos, el principio en todos es el mismo.

La vida moderna sería impensable sin la existencia de los motores, éstos se encuentran en todas partes: en la industria, el transporte, el hogar, etc. Para cualquier lado que volteemos podemos encontrar una máquina que funcione con un motor como estos que se muestran en la Figura 65 operando maquinaria de una industria metalúrgica. En nuestra vida diaria estamos acostumbrados a un tipo particular de motor, los motores eléctricos, pues existen en muchos de los aparatos que ocupamos en nuestro hogar, como: refrigerador, lavadora, licuadora, relojes de pared, etc. Debido a la importancia que tienen en nuestra vida cotidiana, consideramos importante que conozcan cómo son los motores y los principios físicos involucrados en su funcionamiento.

Figura 65. Aplicación de los motores eléctricos en la industria metalúrgica



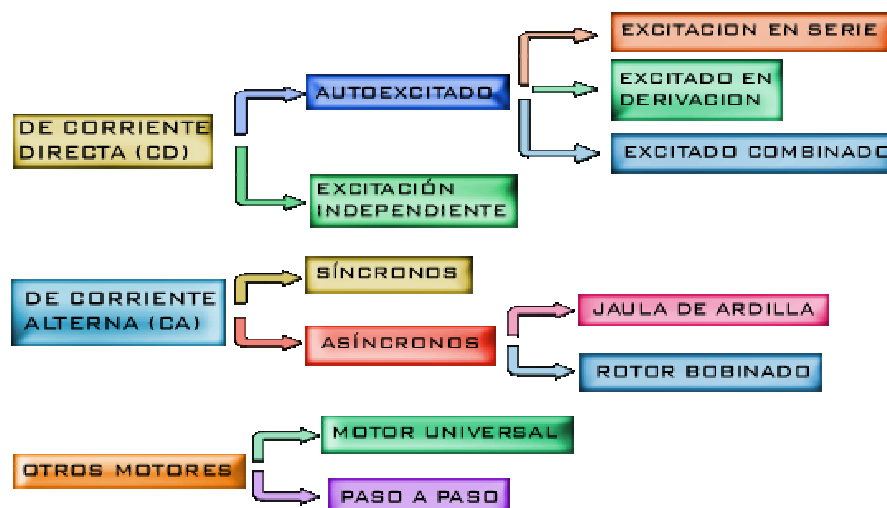
Fuente: CD, Análisis eléctrico. Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

En casi todas las ramas de la industria es posible encontrar aplicaciones tanto para motores de CA como para motores de CD, Puede decirse que estos dos tipos de máquina tienden a complementarse y no a competir entre sí.

2.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos son los motores utilizados en la industria, pues combinan las ventajas del uso de la energía eléctrica (bajo costo, facilidad de transporte, limpieza, simplicidad de la puesta en marcha, comodidad y seguridad en su funcionamiento, etc.) con una construcción relativamente simple, costo reducido y buena adaptación a los más diversos tipos de carga. Teniendo en cuenta la fuente de tensión que alimenta al motor, podemos realizar la siguiente clasificación (figura 66):

Figura 66. Clasificación general de motores eléctricos



2.2 MOTORES DE CORRIENTE DIRECTA (DC)

Los motores de CD fueron los primeros dispositivos para la conversión de energía electromecánica, la industria ha usado motores de CD durante muchos años como este que se observa en la Figura 67 debido a sus propiedades excepcionales de control de velocidad, buen arranque, mayor

eficiencia mecánica que los de CA en aplicaciones que impliquen aceleración y desaceleración frecuentes con cargas de inercia elevada.

Figura 67. Motor eléctrico de corriente directa (DC)



Fuente: <http://alek.pucp.edu.pe/cursos/pregrado/iee215/motordc/wmaq.htm>

Generalmente son mucho más caros que los motores normales de CA de inducción, son especialmente adecuados para aplicaciones que requieren aceleración gradual dentro de un intervalo muy amplio, ajuste y regulación continua y precisa de velocidad, sincronización de velocidades (o ambas cosas) y control preciso del par de rotación o torque, presentando la posibilidad de obtener su detención en posiciones muy precisas (Figura 68).

Figura 68. Motor de corriente directa para trabajo pesado a la intemperie



Fuente: CD, Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Un motor de corriente directa puede proporcionar un par tres veces mayor que el nominal durante periodos cortos, y durante lapsos muy breves por ejemplo de 3 a 4 segundos, es capaz de proporcionar un par hasta de cinco veces el par nominal.

Además, se utilizan en aquellos casos en los que es imprescindible utilizar corriente continua, (Figura 69), como este motor de CD usado para ejercer movimiento a un gran ventilador del sistema de refrigeración de una locomotora.

Se aplican especialmente a locomotoras, tranvías, funiculares, submarinos, trenes y automóviles eléctricos, motores para utilizar en el arranque y en los controles de automóviles, motores accionados a pilas o baterías, etc.

Figura 69. Aplicación de motores de (CD) en sistemas de refrigeración



Fuente: www.fligoristas.com

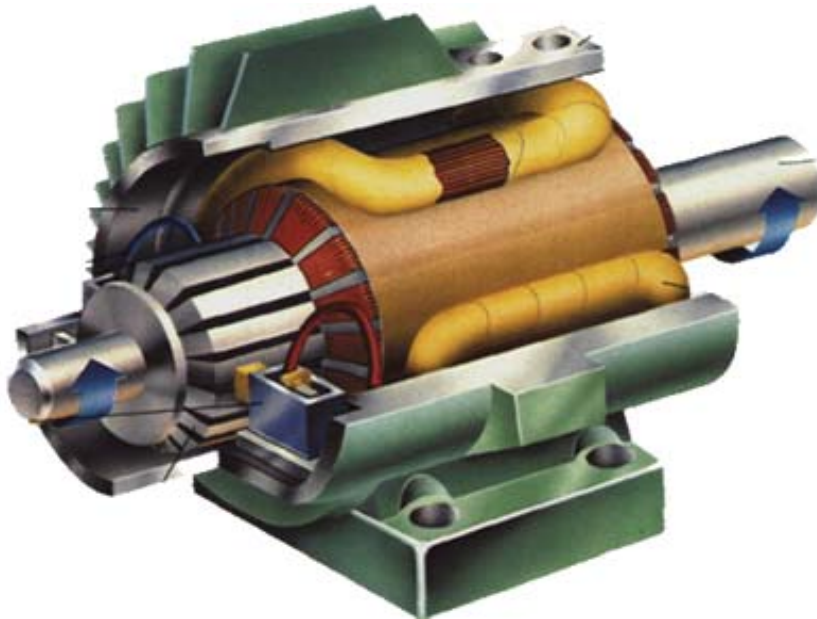
Los motores de corriente directa tienen la desventaja de que no se dispone, generalmente, de grandes fuentes de potencia de CD, a menos que sean especiales para ellos. En los últimos años se han creado controles electrónicos de gran potencia a bajos costos, los cuales convierten CA a CD adecuada para el motor. Así los motores pequeños y medianos se pueden alimentar, de

hecho, desde las líneas de CA, eliminando la necesidad de alimentación especial de corriente. Tales controladores electrónicos también pueden ajustar fácilmente el voltaje de entrada al motor.

2.2.1 Principio de funcionamiento de un motor de corriente directa (CD).

Para mantener los polos de la armadura en la mejor posición, para ser rechazados o atraídos por los polos de campo, el colector (conmutador) y las escobillas cambian la corriente en uno de los devanados de la armadura a la vez, a medida que gira la armadura. Esto da como resultado que los polos de la armadura se mantengan casi fijos entre los polos de campo, mientras la armadura gira y el motor ejerce una torsión suave, en la figura 70 se puede ver un motor de corriente directa en corte en donde se aprecian sus partes.

Figura 70. Motor de corriente directa en corte



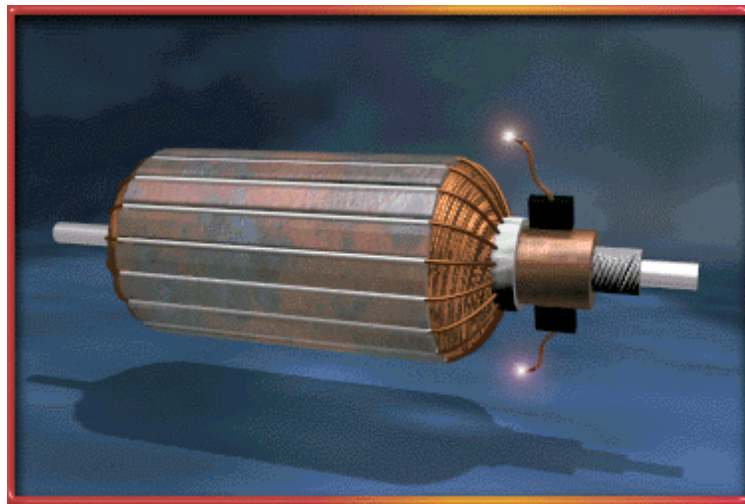
2.2.2 Partes principales. El motor de corriente continua está compuesto de 2 piezas fundamentales:

Tabla 2. Distribución de las partes principales de un motor de CD.

ROTOR	ESTATOR
NÚCLEO	ARMAZÓN O YUGO
EJE O FLECHA	BOBINAS
DEVANADO	ESCOBILLAS Y PORTA ESCOBILLAS
COLECTOR	TAPAS

2.2.2.1 Rotor llamado también Armadura o Inducido. Constituye la parte del motor sobre la que influye el campo magnético provocado por el estator, proporcionando el torque para mover la carga.

Figura 71. Rotor de motor corriente directa



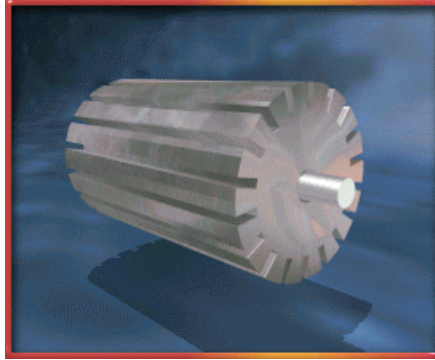
Fuente: CD, Máquinas de Corriente Directa, Ingeniería Eléctrica

El rotor está formado esencialmente por:

- ✓ **Núcleo.** Se localiza sobre el eje. Fabricado con capas laminadas de acero, formando ranuras para alojar las bobinas que constituyen el

devanado, su función es proporcionar un trayecto magnético entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule.

Figura 72. Núcleo de motor de corriente directa



Fuente: CD, Máquinas de Corriente Directa, Ingeniería Eléctrica

- ✓ **El eje (o flecha).** Formado por una barra de acero fresada. Imparte la rotación al núcleo, devanado y al colector.

Figura 73. Eje o flecha



- ✓ **Devanado.** Consta de bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo del rotor. Estas bobinas están alojadas en las ranuras (del núcleo del rotor), y sus extremos están conectadas eléctricamente con el colector o conmutador.

Figura 74. Devanado



- ✓ **Colector.** Denominado también conmutador, está constituido de láminas de material conductor (delgas), separadas entre sí y del centro del eje por un material aislante, para evitar cortocircuito (Figura 75).

Figura 75. Colector de motor de corriente directa



Fuente: CD, Máquinas de Corriente Directa, Ingeniería Eléctrica

El colector se encuentra sobre uno de los extremos del eje del rotor, de modo que gira con éste y está en contacto con las escobillas.

2.2.2.2 Estator llamado también campo, armazón polar, yugo o inductor. Constituye la parte fija de la máquina (Figura 76). Su función es suministrar el

flujo magnético que será usado por el bobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio.

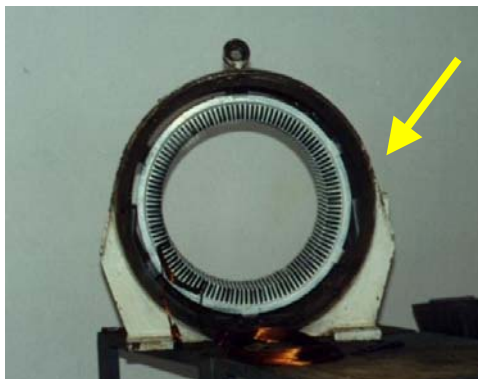
Figura 76. Estator de motor de CD



El estator está formado esencialmente por:

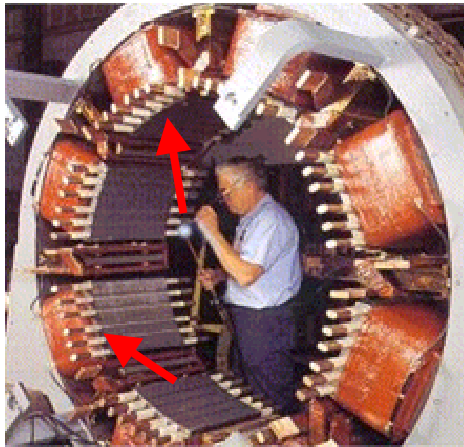
- ✓ **Armazón.** Denominado también yugo, tiene dos funciones primordiales: servir como soporte y proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético del rotor y del imán permanente, para completar el circuito magnético.

Figura 77. Yugo o armazón de motor de corriente directa



- ✓ **Salientes de hierro.** Están formados por chapas para evitar las pérdidas por corrientes de fucol, regularmente distribuidos en números pares denominados polos.

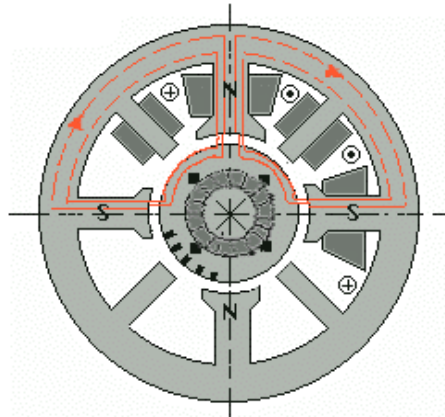
Figura 78. Polos principales



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

- ✓ **Bobinas.** Se encuentran envolviendo los polos, al ser alimentadas con corriente continua, crearán el campo magnético inductor, que será fijo en el espacio.

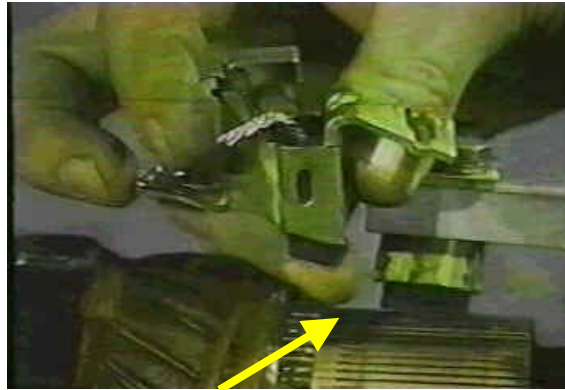
Figura 79. Bobinas motor de corriente continua



Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón ,Bucaramanga

- ✓ **Escobillas.** Las escobillas están fabricadas de carbón, y poseen una dureza menor que la del colector, para evitar que éste se desgaste rápidamente. Se encuentran albergadas por los portaescobillas. Las escobillas se encuentran conectadas a la fuente de alimentación.

Figura 80. Escobillas



Fuente: CD. Máquinas de Corriente Directa Ingeniería Eléctrica UIS

- ✓ **Portaescobillas.** Su función es mantener a las escobillas en su posición de contacto firme con los segmentos del colector.

Figura 81. Portaescobillas

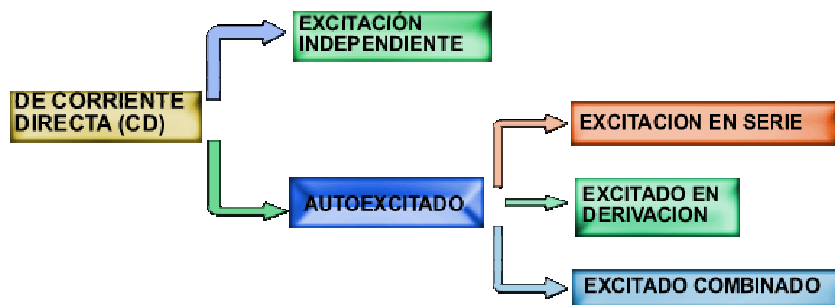


Fuente: CD. Máquinas de Corriente Directa Ingeniería Eléctrica UIS

Esta función la realiza por medio de resortes, los cuales hacen una presión moderada sobre las escobillas contra el colector. Esta presión debe mantenerse en un nivel intermedio pues, de ser excesiva, la fricción desgastaría tanto a las escobillas como al colector; por otro lado, de ser mínima esta presión, produciría lo que se denomina "chisporroteo", que es cuando aparecen chispas entre las superficies del colector y las escobillas, debido a que no existe un buen contacto.

2.2.3 Clasificación de los motores de corriente continua. Es conveniente distinguir entre los cuatro tipos fundamentales de motores de corriente directa (Figura 82), atendiendo a la forma en que, por distintas conexiones de los devanados, se obtiene el campo magnético en la armazón polar (estator).

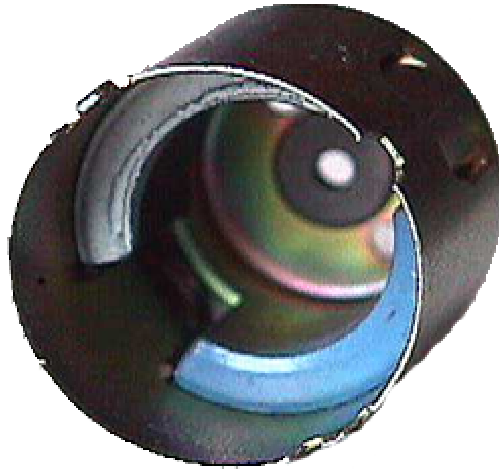
Figura 82. Clasificación general de motores de corriente directa (CD)



2.2.3.1 Con imanes permanentes o excitación independiente. Los motores de imán permanente son muy sencillos porque no tienen devanados de bobina de campo. La única conexión eléctrica llega a la armadura a través de las escobillas. Los imanes permanentes proveen polos de campo constantes, sin importar si el motor está, o no, en marcha. En la Figura 83 se puede

observar un estator de un motor de CD de excitación independiente en la cual se pueden ver la posición de los imanes permanentes.

Figura 83. Estator de un motor de corriente directa de imán permanente



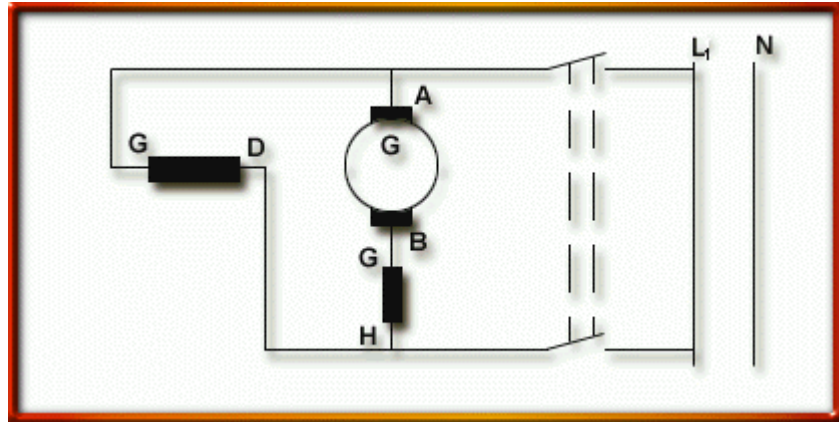
2.2.3.2 Con bobinas inductoras o autoexcitado. Significa que la corriente continua que alimenta el devanado inductor proviene del propio motor. Según el tipo de conexión que se emplee entre el inductor y el inducido se tienen tres tipos de motores autoexcitados.

- ✓ Excitación en derivación (tipo shunt)
- ✓ Excitación en serie (tipo serie)
- ✓ Excitación compuesta o combinada (tipo compound)

Excitación en derivación (Tipo Shunt). El devanado inductor esta directamente conectado a las escobillas, luego en paralelo con el inducido.

La corriente por el inductor será mucho más reducida que la del inducido, por lo que sus bobinas serán de poca sección y gran número de espiras.

Figura 84. Conexión en derivación

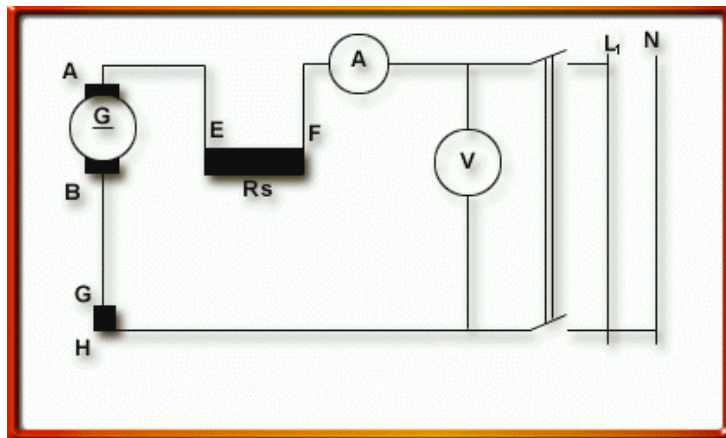


Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Excitación en serie (Tipo Serie). En el motor de corriente continua conectado en serie, el devanado del inductor está conectado en serie con el inducido, por lo que por ambos devanados circula la totalidad de la corriente.

Por lo tanto serán bobinas de gran sección y poco número de espiras.

Figura 85. Conexión en serie (tipo serie)



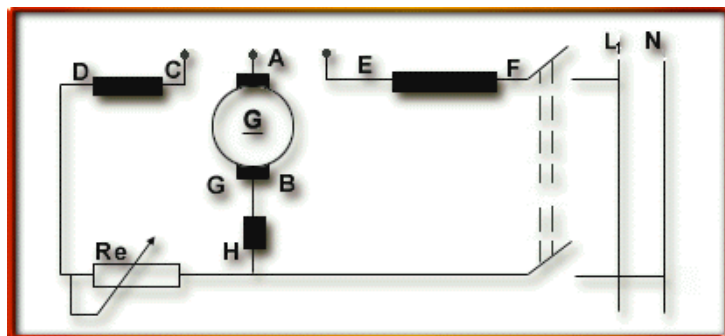
Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Excitación compuesta o combinada (Tipo Compound). El devanado del inductor está compuesto por dos bobinas, una de elevada sección en serie con

el inducido, y otra en paralelo de reducida sección.

Caben dos posibilidades de conexión, la compuesta larga y la compuesta corta, aunque debido al escaso valor de la corriente por el devanado derivación, las dos conexiones tienen diferencias prácticamente inapreciables en su funcionamiento.

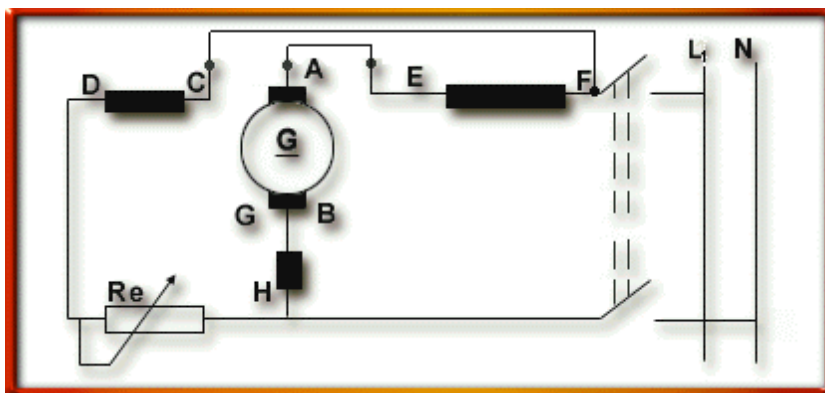
Figura 86. Conexión compuesta



Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Conexión compuesta larga. El devanado serie está conectado directamente al inducido, y el derivación a los bornes de la máquina, en paralelo con el inducido y el serie.

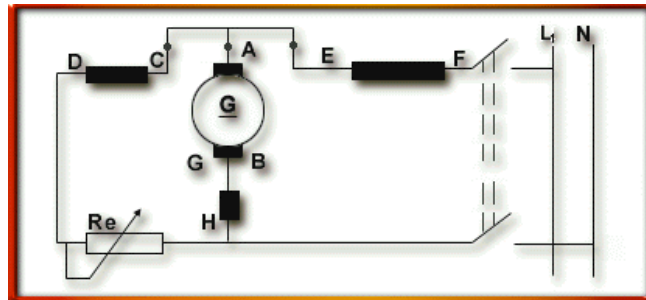
Figura 87. Conexión compuesta larga



Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Conexión compuesta corta. El devanado derivación esta vez se conecta a las escobillas, quedando el serie recorrido por toda la corriente del motor.

Figura 88. Conexión compuesta corta



Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

2.3 MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA (CA.)

En los hogares modernos generalmente existen de 30 a 60 motores para aplicaciones en ventiladores, controladores de calefactores, abre puertas, bombas, lavavajillas, pulidoras, compresores, refrigeradores, hornos, secadoras de cabello y otros más (Figura 89). La mayoría de estos motores son motores de corriente alterna; y su uso es cada día más y más difundido en múltiples aplicaciones.

Figura 89. Motor de corriente alterna (CA)



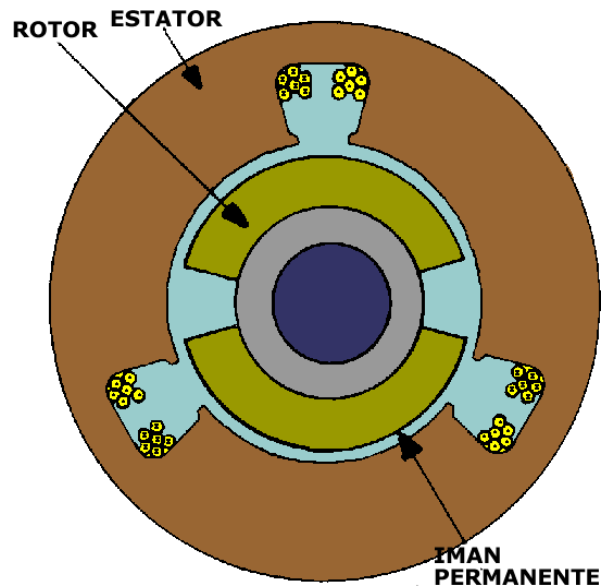
2.3.1 Principio de funcionamiento de un motor de corriente alterna (CA).

En todos los motores de CA, los devanados del estator están conectados a la corriente alterna en las líneas de energía. Debido a que la corriente se alterna, normalmente 50 o 60 veces por segundo, cada polo de estator alterna la polaridad a la misma frecuencia.

El campo magnético en un motor de corriente alterna se puede generar de dos formas:

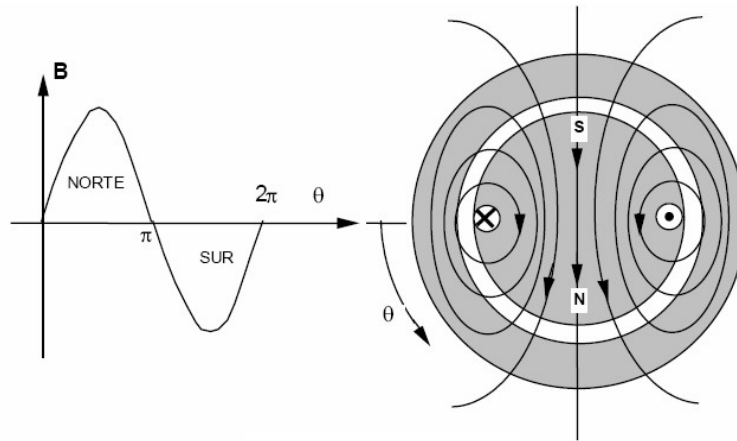
- ✓ Utilizando un rotor de imán permanente
- ✓ Utilizando un rotor en el cual se han colocado una serie de devanados que se alimentarán con corriente continua.

Figura 90. Rotor de imán permanente



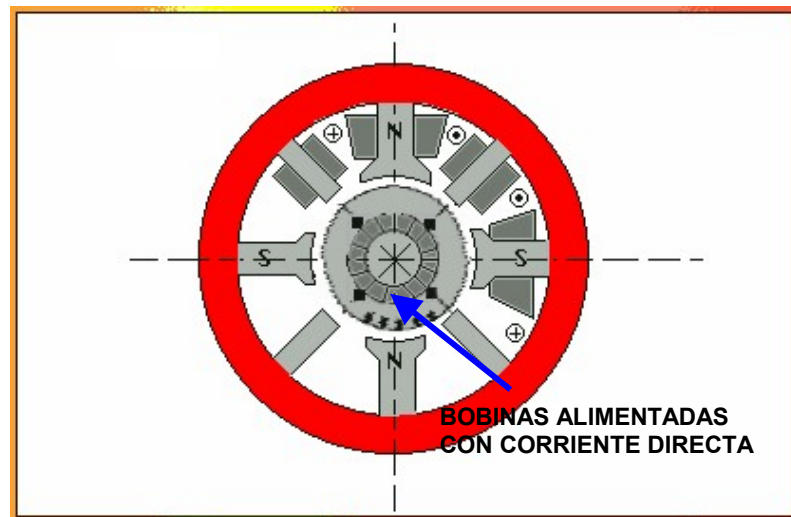
Como se busca es obtener una corriente alterna senoidal en el estator, el campo magnético que se debe generar en el entre hierro de tener también una distribución senoidal.

Figura 91. Onda senoidal



Fuente: CD, Análisis Eléctrico Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Figura 92. Bobinas en el rotor alimentadas con corriente continua

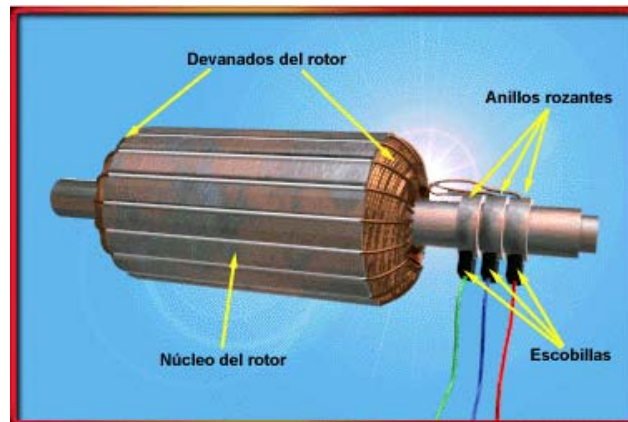


Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

2.3.2 Partes principales. Están constituidos por dos componentes básicas: una parte giratoria o rotor y una parte estacionaria o estator.

2.3.3.1 Rotor de motor de corriente alterna (CA). Es la parte móvil de la máquina, suele alojar al inductor que se encarga de producir el campo magnético rotatorio.

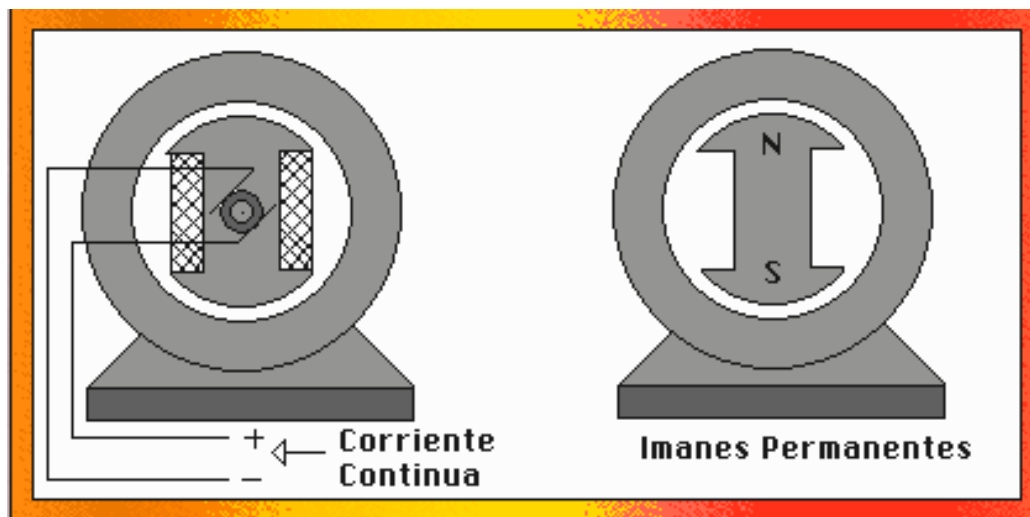
Figura 93. Rotor de motor de corriente alterna



Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Rotor de motor de corriente alterna síncrono. Puede ser excitado por corriente continua o por imanes permanentes, en la Figura 94, se puede observar los dos tipos de excitación que se pueden obtener.

Figura 94. Tipos de excitación de motor de CA síncrono



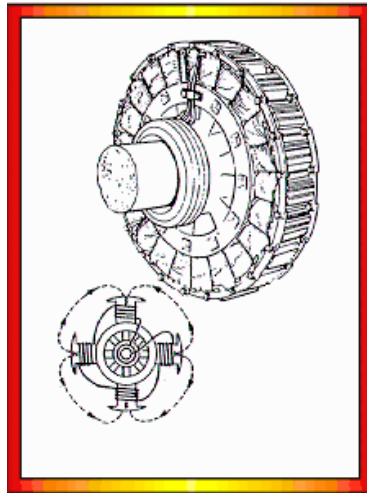
Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Dependiendo de la velocidad de rotación del motor de corriente alterna Síncrono se puede obtener la siguiente clasificación:

- ✓ Rotor de polos salientes
- ✓ Rotor cilíndrico

Rotor de polos salientes. Los motores síncronos con rotor de polos salientes (Figura 95), son concebidos para funcionar a velocidades no superior a 1000 r.p.m. ya que el rotor corre el riesgo de fracturarse, son extremadamente cortas y su construcción normal es de eje vertical, por eso son conocidas como máquinas lentas.

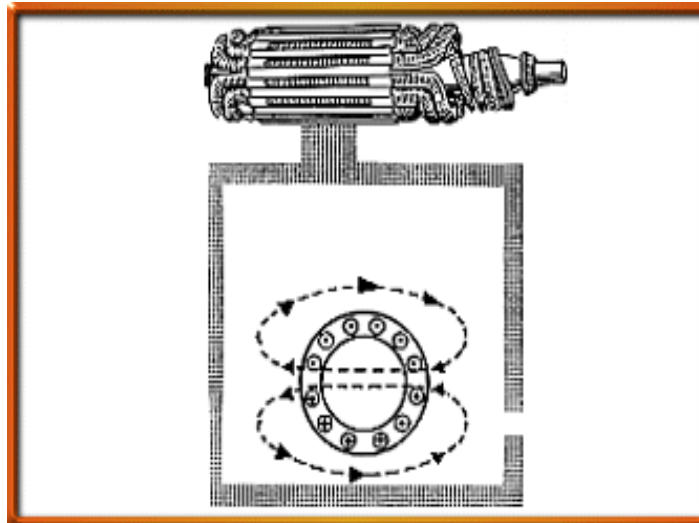
Figura 95. Rotor de polos salientes



Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Rotor cilíndrico. Son motores de velocidad de giro elevada entre 1500 y 3000 r.p.m, el rotor esta formado por un cilindro de acero de alta resistencia, (Figura 96), son rotores extremadamente largos con una longitud de armadura muy superior al diámetro de esta.

Figura 96. Rotor cilíndrico



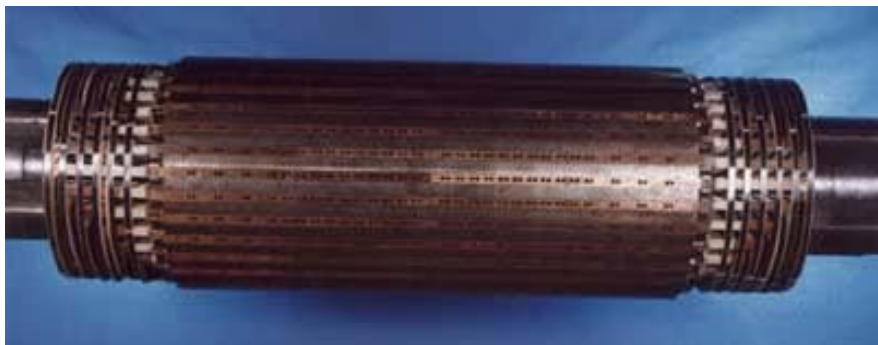
Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

Rotor de motor de corriente alterna asíncrono. Está formado también por chapas magnéticas, y se clasifican en:

- ✓ Rotor de jaula de ardilla.
- ✓ Rotor bobinado.

Rotor de jaula de ardilla. Está constituido por unas barras desnudas de cobre, latón, bronce o aluminio inyectado, (Figura 97).

Figura 97. Rotor de jaula de ardilla



Fuente: <http://www.epri.com/journal/details.asp?id=577&doctype=projects>

Rotor bobinado. Se disponen bobinas en las ranuras (Figura 98) y estas se conectan a tres anillos colectores que unen los bobinados con el exterior mediante unas escobillas.

Figura 98. Rotor bobinado



Fuente: <http://www.epri.com/journal/details.asp?id=577&doctype=projects>

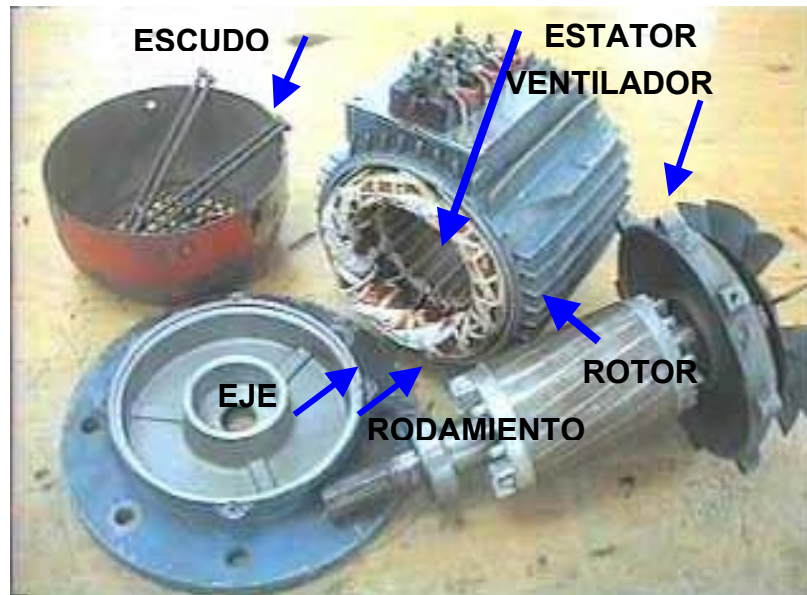
2.3.2.2 Estator de motor de corriente alterna. Esta formado por un paquete de chapas magnéticas ranuradas, en las cuales se alojará el devanado inducido que normalmente será trifásico (Figura 99).

Figura 99. Estator de motor de corriente alterna síncrono



En los motores la estructura estacionaria se llama campo y la parte rotatoria armadura, en la Figura 100 se puede observar un motor de CA desarmado con todas las partes constitutivas.

Figura 100. Motor de corriente alterna desarmado

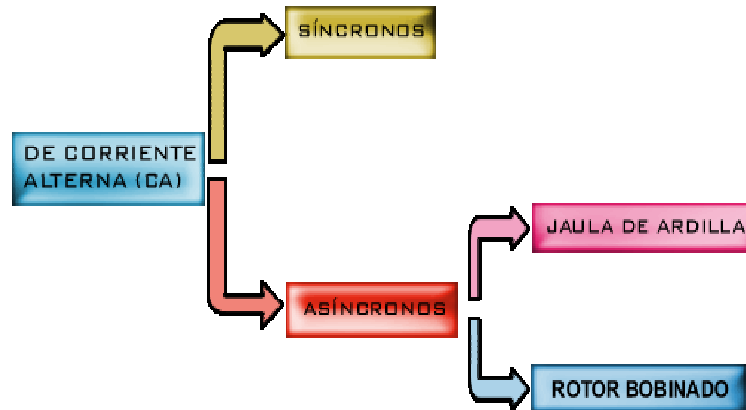


Fuente: www.emabobinados.com

El rotor gira dentro del estator bajo la influencia del campo magnético que se forma a partir de la corriente eléctrica alterna en los devanados del estator.

2.3.3 Clasificación de motores de corriente alterna. Dependiendo de los medios utilizados para aprovechar este campo magnético rotatorio para producir el movimiento del rotor del motor de corriente alterna, se puede lograr que la velocidad angular del campo magnético y la velocidad angular del rotor sean o no iguales y así obtener dos tipos de motores de corriente alterna (Figura 101).

Figura 101. Clasificación de motores de CA



2.3.3.1 Motor síncrono. El rotor de un motor síncrono gira a la velocidad sincrónica. En otras palabras, el rotor, sus polos magnéticos y los polos del estator están enclavados juntos bajo las condiciones normales de operación. Cualquier motor de CA que tenga un rotor con imán permanente o cuyos polos del rotor sean el resultado de la CD. En un devanado de rotor es un motor sincrónico, (Figuras 102).

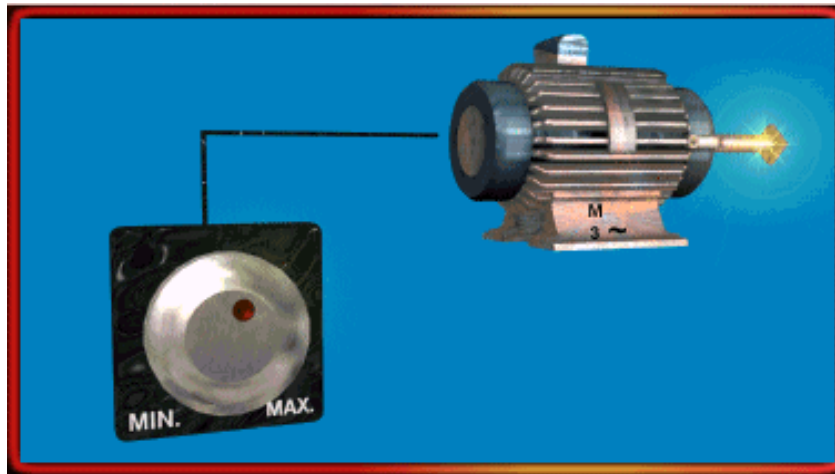
Figura 102. Motor de corriente alterna síncrono



Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

2.3.3.2 Motor asíncrono o de inducción. La velocidad angular del rotor de estos motores es menor que la velocidad angular del campo magnético producido por la corriente que recibe, a la diferencia de estas velocidades angulares se le conoce como deslizamiento y se expresa como porcentaje de la velocidad de giro del campo magnético, (Figuras 103).

Figura 103. Motor de corriente alterna asíncrono



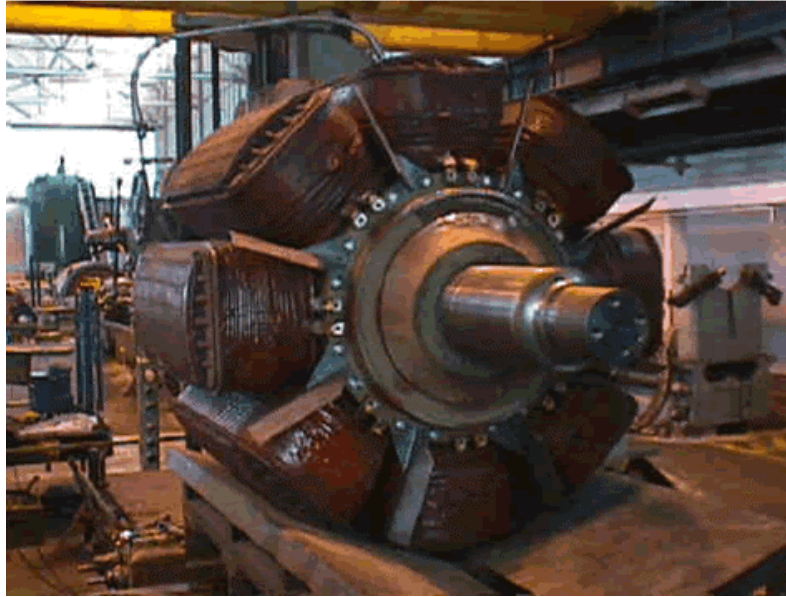
Fuente: CD, Máquinas Eléctricas, Sena Girón, Bucaramanga

De acuerdo a la forma de construcción del rotor, los motores asincrónicos se clasifican en:

- ✓ Motor Asíncrono de Rotor Bobinado
- ✓ Motor Asíncrono tipo Jaula de Ardilla

Motor asíncrono de rotor bobinado. Se utiliza en aquellos casos en los que la transmisión de potencia es demasiado elevada (a partir de 200 kW) y es necesario reducir las corrientes de arranque. También se utiliza en aquellos casos en los que se desea regular la velocidad del eje.

Figura 104. Rotor bobinado



Fuente: www.joliet-equipment.com/Brushless_AC_Generator_Repairs_files

Su característica principal es que en el rotor se aloja un conjunto de bobinas que además se pueden conectar al exterior a través de anillos rozantes.

Figura 105. Anillos rozantes



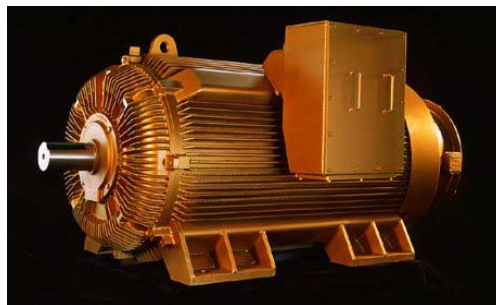
Fuente: www.google.com/imagenes.

Colocando resistencias variables en serie a los bobinados del rotor se consigue suavizar las corrientes de arranque de la misma manera, gracias a un conjunto de resistencias conectadas a los bobinados del rotor, se consigue

regular la velocidad del eje. Un detalle interesante es que la velocidad del eje nunca podrá ser superior que la velocidad correspondiente si el motor fuera síncrono.

Motor asíncrono tipo jaula de ardilla. Los motores jaula de ardilla tienen una parte cilíndrica fija de hierro, la estructura o estator, y un rotor de hierro que gira dentro del estator. Unas ranuras longitudinales en la superficie interior del estator y en la superficie del rotor tienen devanados de conductores eléctricos.

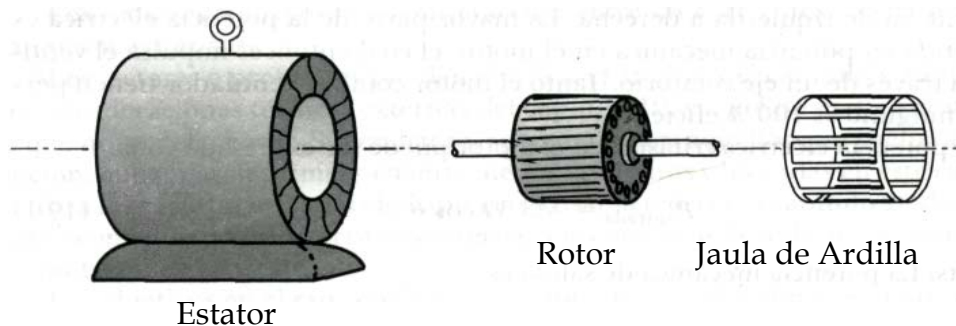
Figura 106. Motor jaula de ardilla



Fuente: <http://200.16.6.4/cursos/pregrado/iee215/gensincrono/sincrono.htm>

Es el motor relativamente más barato, más durable, eficiente, menos afectado por el ambiente, compacto y de fácil construcción y mantenimiento.

Figura 107. Partes principales



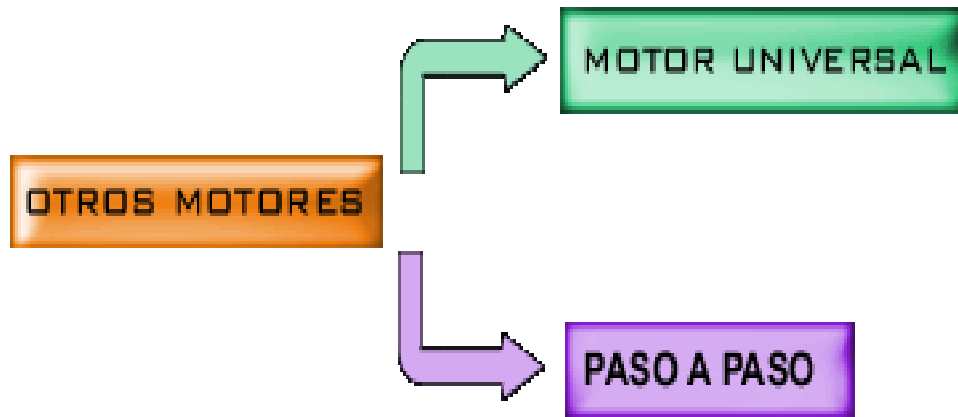
Fuente: Fotocopias Motores eléctricos Biblioteca UIS

En el motor de inducción de jaula de ardilla la parte eléctrica del rotor está formada por unas barras conductoras de aluminio fundido, dispuestas en forma de jaula (la cual no se ve porque se encuentra embebida en el hierro del rotor), y sin conexiones externas.

2.4 OTROS MOTORES

Hemos mencionado los motores eléctricos de mayor uso en nuestro medio. Existen otros que son utilizados en casos especializados o domésticos. Entre ellos conviene destacar los siguientes:

Figura 108. Otros motores



2.4.1 Motor universal. Tiene la forma de un motor de corriente continua en conexión serie. La principal diferencia es que es diseñado para funcionar con corriente alterna.

Se utiliza en los taladros, aspiradoras, licuadoras, lustradoras, etc. su eficiencia es baja (de orden del 51%), pero como se utilizan en máquinas de pequeña potencia esta ineficiencia no se considera importante como este que se utiliza en una bobinadora para motores eléctricos (Figura 109).

Figura 109. Aplicación de un motor universal



Fuente: www.monografias.com

2.4.2 Motor paso a paso. Básicamente consiste en un motor con por lo menos cuatro bobinas que al ser energizadas con corriente continua de acuerdo a una secuencia, origina el avance del eje de acuerdo a ángulos exactos (submúltiplos de 360). Estos motores son muy utilizados en impresoras de microcomputadoras, en disqueteras y en general el sistema de control de posición accionado digitalmente.

Figura 110. Motor paso a paso



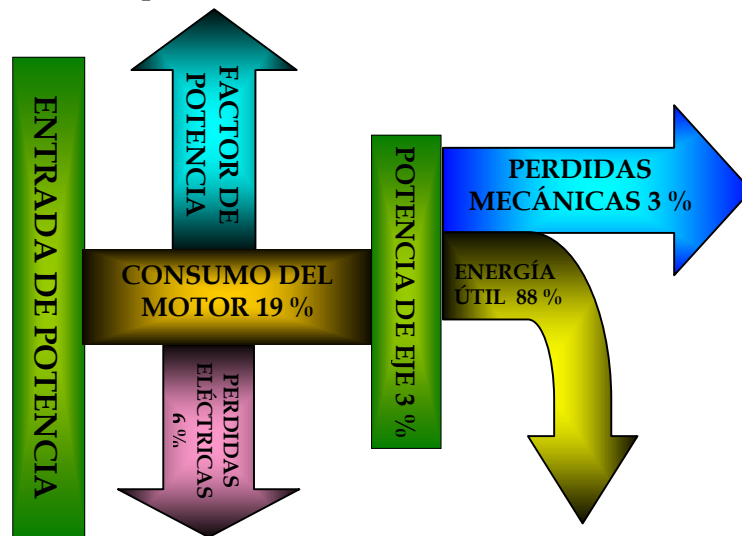
Fuente: www.monografias.com

2.5 SISTEMAS DE AISLAMIENTO PARA MOTORES

El Sistema de aislamiento de un motor está constituido por un conjunto de materiales dieléctricos elegidos cuidadosamente en cuanto a sus propiedades (mecánicas, térmicas, químicas y eléctricas). Estos materiales desempeñan tres funciones básicas en el motor:

1. Forman una barrera que aísla los conductores de los devanados entre sí, y respecto a la armazón de acero (núcleo de hierro) del motor.
2. Recubren cabalmente el devanado del motor, protegiéndolo contra la humedad y el ataque de otros agentes perjudiciales del ambiente, como polvo, vapores corrosivos, etc.
3. Mejoran la conducción hacia fuera del calor generado por las pérdidas de potencia en el motor (Figura 111).

Figura 111. Pérdidas de potencia en motores eléctricos



2.5.1 Características generales. Un aislante debe reunir una serie de propiedades que dependen del uso al cual se destine.

- ✓ Propiedades eléctricas
- ✓ Propiedades mecánicas
- ✓ Propiedades químicas
- ✓ Propiedades térmicas

Propiedades eléctricas. La capacidad de aislamiento se denomina rigidez dieléctrica. Los aislantes deben tener una resistencia de aislamiento proporcionada a la tensión de trabajo.

Propiedades mecánicas. El aislamiento de las bobinas de las máquinas giratorias debe soportar esfuerzos centrífugos y vibraciones, lo cual exige una resistencia mecánica adecuada.

Propiedades químicas. El aislamiento muchas veces está sometido a la acción de ácidos, aceites, álcalis, etc.; por tal motivo es muy importante su resistencia a estos ataques químicos.

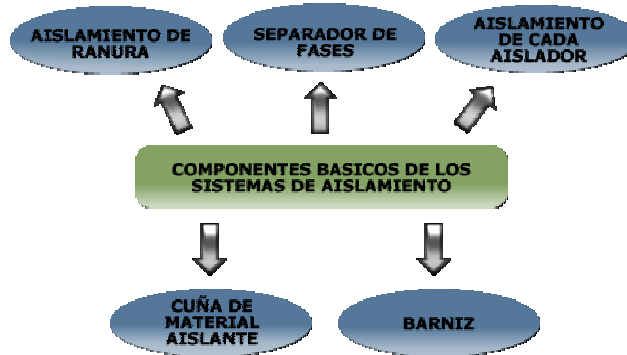
Propiedades térmicas. Los aislamientos deben mantener sus condiciones en las distintas temperaturas de trabajo; esta propiedad determina la vida del aislamiento.

2.5.2 Clasificación de los materiales aislantes. La clasificación más usada en bobinados comprende tres grandes grupos de materiales aislantes:

- ✓ Papeles, cartones y fibras.
- ✓ Telas y cintas aislantes.
- ✓ Mica y telas de fibra de vidrio.

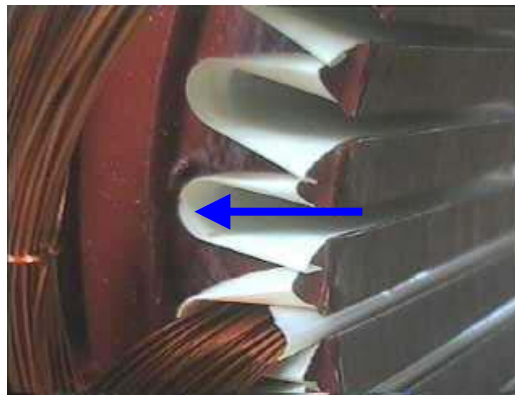
2.5.3 Componentes básicos de los sistemas de aislamiento. El tipo de sistema de aislamiento requerido depende no sólo del lugar en que trabajará el motor, sino también de las características de los materiales aislantes.

Figura 112. Componentes básicos de los sistemas de aislamiento



- ✓ **Un aislamiento de ranura.** Separa las bobinas del núcleo formado por laminaciones del estator. Su espesor debe ser tan pequeño como sea posible para que cumpla su función, sin reducir demasiado el espacio disponible para alojar correctamente los conductores dentro de la ranura.

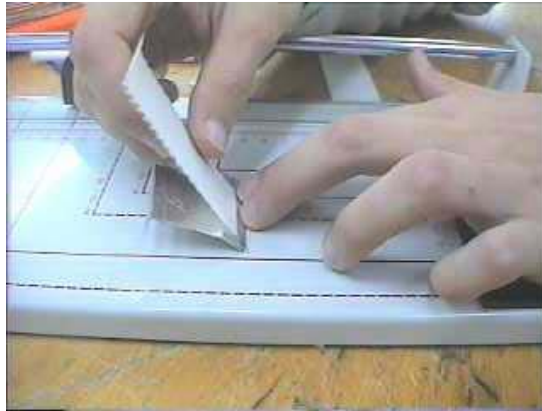
Figura 113. Aislamiento de ranura



Fuente: www.emabobinados.com

- ✓ **Un separador de fases.** Aísla los conductores que no pertenecen a la misma fase y que se encuentran en una misma ranura.

Figura. 114 separadores de fases



Fuente: www.emabobinados.com

- ✓ **El aislamiento propio de cada conductor.** En la mayor parte de los casos, dicho aislamiento es un barniz aislante aplicado en varias capas al conductor desnudo.

Figura 115. Alambre para aislamiento de motores eléctricos



Fuente: www.emabobinados.com

- ✓ **Una cuña de material aislante más o menos grueso.** Mantiene los conductores firmemente sujetos en la ranura, y soporta los esfuerzos mecánicos a los que dichos conductores son sometidos durante el

funcionamiento normal del motor.

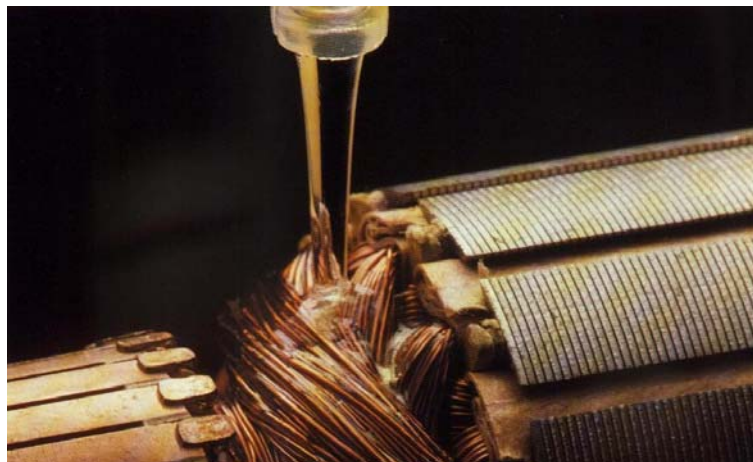
Figura 116. Cuñas de material aislante



Fuente: www.emabobinados.com

- ✓ **Un barniz que llena todos los intersticios entre los conductores y los demás elementos del alojamiento del devanado.** Este barniz debe sellar los conductores contra el ataque de agentes externos, formar un conjunto de altas resistencias mecánica y dieléctrica, y ayudar a que el calor generado por las pérdidas eléctricas en el cobre del devanado se transmita al exterior.

Figura 117. Barnizado de bobinas



Cada componente del sistema de aislamiento debe ser elegido cuidadosamente. La primera consideración que debe hacerse es la relativa a la rigidez dieléctrica (poder aislante) del material por unidad de espesor. Esto es importante dado que, como ya se mencionó, el aislamiento ocupa parte del espacio disponible de cada ranura y, en consecuencia, reduce el espacio que puede ser ocupado por los conductores. Normalmente, los aislamientos ocupan alrededor de un 10 % del área transversal de la ranura. En forma paralela debe tomarse en consideración la temperatura de funcionamiento normal del motor, lo que da un indicio de la clase de materiales aislantes que deben utilizarse.

2.5.4 Temperaturas nominales de los sistemas de aislamiento. Los aislamientos para motor suelen clasificarse por la estabilidad a varias temperaturas, de los materiales usados para su construcción, con las letras A, B, F y H; cada una corresponde a un límite (en °C) para la temperatura máxima de funcionamiento, como se indica en la tabla 3.

Tabla 3. Temperatura máxima permisible para aislamientos eléctricos

CLASE DE AISLAMIENTO	LÍMITE DE TEMPERATURA °C
A	105
B	130
F	155
H	180

Algunos de los materiales aislantes y sus aplicaciones en cada clase son como sigue:

Clase A: papel de trapos o película de poliéster. Esta clase se emplea en motores de potencia fraccionaria (menor de 1 hp) como taladros eléctricos, aspiradores, artefactos electrodomésticos pequeños, etc.

Clase B: compuesto laminado de tres capas: fibras, película y fibras de poliéster, que se puede saturar con resinas de poliéster o epoxi. Según las normas NEMA, casi todos los motores con tal aislamiento se obtienen sin dificultad en el comercio para instalaciones de aire acondicionado o de refrigeración, así como en motores fraccionarios para diversas aplicaciones.

Clase F: compuesto de poliéster y papel fibroso de aramida o laminados de papel de aramida. Esta clase de aislamiento se utiliza cada vez más para prolongar la duración de los motores que se emplean en aplicaciones industriales, como líneas de proceso, bombas, compresores y ventiladores.

Clase H: compuestos tales como papel fibroso de aramida y película de poliéster, película de poliamida o combinaciones de ellos. Se emplean en aplicaciones de alta temperatura en las que se requiere máxima confiabilidad, como en los trenes de un sistema ferroviario urbano (metro), aceras móviles y escaleras eléctricas, máquinas para construcción pesada, y en lugares con alta temperatura ambiental o a gran altitud.

2.6. ANÁLISIS DE PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO EN MOTORES ELÉCTRICOS

Los motores eléctricos de baja, mediana y alta tensión son los equipos eléctricos de mayor aplicación en la industria. La importancia que tienen en

los diferentes procesos productivos hace necesario asegurar su continuidad operativa. La detección anticipada de una posible causa de falla permite planear, con fines de mantenimiento, la remoción programada del motor.

El aislamiento es el «corazón» de un motor eléctrico. Es un elemento importante y tiene un gran efecto en la duración y el historial de mantenimiento de la máquina. Cuando el aislamiento falla, el motor queda inutilizado. Y es en el aislamiento donde se han hecho mayores cambios de diseño que en cualquier otra parte de dicha máquina eléctrica, en especial ahora que se demandan motores cada vez más pequeños y que deben funcionar a temperaturas más altas.

2.6.1 Operación con voltaje y frecuencia diferentes del valor nominal. Hay ocasiones en las que es necesario operar un motor de inducción a un voltaje o frecuencia (o ambos) distintos de los indicados en la placa de datos.

2.6.1.1 Condiciones de funcionamiento satisfactorias. De conformidad con las normas, un motor de inducción trifásico puede funcionar en forma satisfactoria en las condiciones que se indican en la tabla 4.

Tabla 4. Condiciones de funcionamiento satisfactorias

VOLTAJE (%) nominal	FRECUENCIA (%) nominal
90 - 110	VALOR DE PLACA
VALOR DE PLACA	95 - 105
* Con una variación combinada de voltaje y frecuencia cuya suma no exceda del 10 % de los valores nominales, siempre que la variación de frecuencia no sea mayor de 5 % de la frecuencia nominal.	

2.6.1.2 Efectos por aumento o reducción de la frecuencia. Varias de las características del motor de inducción se ven afectadas directamente por las variaciones de voltaje y de frecuencia (ver tabla 5). Se examinarán los efectos de una reducción y un aumento de frecuencia, como ocurriría por Ejemplo al operar un motor de (50 Hz a 60 Hz) y de (60 Hz a 50 Hz) (lo cual estaría fuera de lo previsto por las normas).

Tabla 5. Efectos por aumento o reducción de la frecuencia

PARÁMETRO	AUMENTO DE FRECUENCIA	DISMINUCIÓN DE FRECUENCIA
VELOCIDAD	AUMENTA	DISMINUYE
FLUJO Y DENSIDAD DE FLUJO EN EL CIRCUITO MAGNÉTICO	DISMINUYE	AUMENTA
CORRIENTE MAGNETIZANTE	DISMINUYE	AUMENTA
PAR A DESARROLLAR	DISMINUYE	AUMENTA
PAR DE ARRANQUE	DISMINUYE	AUMENTA
PAR MÁXIMO	DISMINUYE	AUMENTA
FACTOR DE POTENCIA	MEJORA LIGERAMENTE	DECIENDE EN LA MAYOR PARTE DE LOS CASOS
EFICIENCIA	SE INCREMENTA	DISMINUYE
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	SE REDUCE POR REDUCCIÓN EN PÉRDIDAS	ELEVA POR INCREMENTO EN LAS PÉRDIDAS
RUIDO DE ORIGEN MAGNÉTICO	DISMINUYE	AUMENTA

2.6.1.3 Efectos por aumento o reducción del voltaje.

Tabla 6. Efectos por aumento o reducción de voltaje

PARÁMETRO	AUMENTO DE VOLTAJE	DISMINUCIÓN DE VOLTAJE
VELOCIDAD DE OPERACION	AUMENTA	DISMINUYE
FLUJO MAGNÉTICO	AUMENTA	DISMINUYE
CORRIENTE MAGNETIZANTE	AUMENTA	DISMINUYE
PAR DESARROLLADO A PLENA CARGA	DISMINUYE	AUMENTA
PAR DE ARRANQUE	AUMENTA	DISMINUYE
PAR MÁXIMO	AUMENTA	DISMINUYE
FACTOR DE POTENCIA	DIMINUYE UN POCO	MEJORA LIGERAMENTE
EFICIENCIA	SE INCREMENTA	DISMINUYE
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	SE REDUCE POR REDUCCIÓN EN PÉRDIDAS	ELEVA POR INCREMENTO EN LAS PÉRDIDAS
RUIDO DE ORIGEN MAGNÉTICO	AUMENTA	DISMINUYE

Conclusiones. La primera conclusión que puede deducirse de los cambios ya enumerados es que el cambio de la frecuencia tiene efectos contrarios al del voltaje. Es decir, un aumento de frecuencia equivale en cierto modo a una disminución de voltaje. Esto es importante, pues las normas no son muy explícitas al respecto, y sólo se mencionan en ellas porcentajes por encima o por debajo del valor nominal.

De este modo, por ejemplo, si se tiene que incrementar la frecuencia en un 5 %, y el voltaje también debe elevarse en el mismo valor, el efecto de ambos cambios será acumulativo. Pero si la variación de voltaje fuera hacia abajo, tendería a contrarrestar el cambio en la frecuencia. En realidad, el funcionamiento de muchos sistemas de control se basa en la premisa de

mantener baja la relación de voltaje sobre frecuencia, con lo cual resulta posible arrancar el motor a muy baja frecuencia y bajo voltaje, y ambas magnitudes se incrementan en forma gradual hasta los valores nominales, o incluso un poco mayores.

2.6.2 Averías en motores eléctricos. Una prueba muy eficaz para verificar el estado general de un motor, sobre todo después de que ha sido sometido a una reparación, consiste en hacerlo funcionar sin carga observando los siguientes puntos:

- ✓ Que la velocidad sea la correcta
- ✓ Que no haya vibración excesiva
- ✓ Que el ruido del motor sea el normal
- ✓ Que no haya calentamiento anormal
- ✓ Que la corriente no sea excesiva y esté equilibrada en las tres fases.

Que la velocidad sea la correcta. Si la velocidad del motor es cercana a la velocidad síncrona, pero se tiene duda acerca de la naturaleza del ruido que aquél emite, es posible diferenciar entre el ruido de origen magnético y el debido al caudal de aire de enfriamiento desconectando momentáneamente la alimentación eléctrica y verificando su total ausencia, con lo cual se elimina el ruido originado por el campo magnético y se percibe sólo el debido a la ventilación, ya que el motor seguirá girando prácticamente a la misma velocidad a causa de la inercia del rotor.

Figura 118. Verificación de ausencia de alimentación eléctrica



Fuente: Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Que no haya vibración excesiva. Si la vibración del motor parece excesiva al simple tacto, puede verificarse en la forma ya descrita si es de origen magnético o mecánico. Si la vibración desaparece o se amortigua notablemente al cortar la alimentación, puede asegurarse que su origen está en el circuito magnético. Si no hay un cambio notable en el nivel de vibración cuando se desconecta el motor, seguramente será de índole mecánica en algunos casos se hace necesario la utilización de algunos suplementos en pro de garantizar el correcto funcionamiento del motor mediante la utilización de placas antivibratorias (figura 119), colocadas en la base del motor, echas de caucho neopreno de alta calidad y corcho comprimido resistente al envejecimiento por aceite o por agua, además suprime al transporte de las vibraciones.

Figura 119. Placa antivibratoria para motores eléctricos



Fuente: Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Que el ruido del motor sea el normal. Si se observa que el ruido es atribuible al circuito magnético, la causa más probable será una conexión incorrecta de los grupos de bobinas, o en algunos casos extraordinarios puede deberse a un entrehierro excéntrico. Cabe mencionar que un motor de inducción puede continuar operando a pesar de que el rotor esté descentrado por desgaste de los rodamientos, lo cual a veces sólo se manifiesta cuando tal desgaste permite que el rotor roce con la parte interna del estator. Entre las causas de vibración de origen mecánico debe considerarse, en primer lugar, la falta de equilibrio dinámico del conjunto rotatorio. Hay ocasiones, por ejemplo, en las que al reparar un motor se cambia su ventilador y no se tiene la precaución de balancearlo o equilibrarlo antes o después del montaje, lo cual seguramente producirá vibración.

Figura 120. Verificación de correcto balanceo del motor y la maquina impulsada



Fuente: Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Que no haya calentamiento anormal. Si el motor es del tipo de carcasa abierta, podrá comprobarse al tacto si el devanado no se ha calentado en grado excesivo después de cierto tiempo de operación sin carga. Esto debe hacerse de preferencia desconectando el motor, para evitar la posibilidad de entrar en contacto con las partes giratorias. Si se trata de un motor de carcasa cerrada, sólo podrá apreciarse un calentamiento anormal en la superficie exterior de la carcasa, o bien verificarse el calentamiento de las bobinas por medio de un cambio de resistencia óhmica o utilizando una cámara de termografía.

Figura 121. Motor de carcasa abierta



Fuente: Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Que la corriente no sea excesiva y esté equilibrada en las tres fases. La

intensidad de la corriente de magnetización de un motor de inducción, comparada con la de una corriente de plena carga, varía según la capacidad del motor y el número de polos. Es importante cerciorarse de que la corriente esté equilibrada en las tres fases del motor (Figura 122). De no ser así, deberá revisarse el devanado de la fase cuya corriente sea mayor o menor que la corriente de las otras dos.

Figura 122. Verificación de la corriente en un motor trifásico



Fuente: www.emabobinados.com

Cuando un motor llega a un taller especializado para su reparación, debe ser examinado con cuidado en busca de la posible causa de la falla. No es fácil localizar con precisión tal causa, pues muchas veces su origen se oculta bajo los devanados quemados u otras averías engañosas. Lo que hace necesario desarmar el motor para buscar posibles fallas internas (Figura 123).

Figura 123. Inspección de motor eléctrico



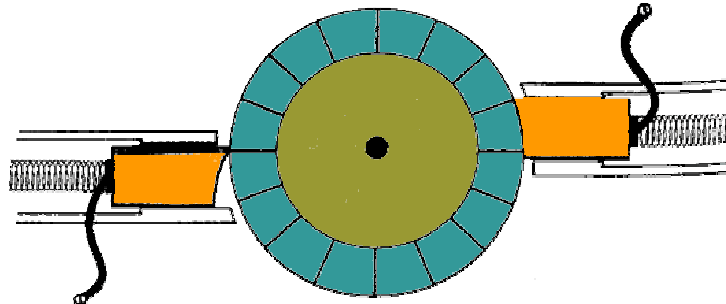
Fuente: www.emabobinados.com

2.6.2.1 Problemas en el colector y las escobillas. Los motores de CD y los motores de CA, con escobillas y colectores (conmutadores) o anillos de fricción requieren una atención rutinaria cada vez más frecuente. Los motores con interruptores (“switches”) centrífugos internos también requieren de, por lo menos, una verificación periódica rápida para asegurarse de que los interruptores están funcionando bien, entre los problemas más frecuentes que se presentan en los colectores y las escobillas tenemos:

- ✓ escobillas rotas o astilladas.
- ✓ resortes de escobillas débiles.
- ✓ escobillas desgastadas y cortas.
- ✓ alambres de escobillas sueltos.
- ✓ portaescobillas volteados, apretados, rotos o mal colocados.
- ✓ Colector desgastado o sucio.

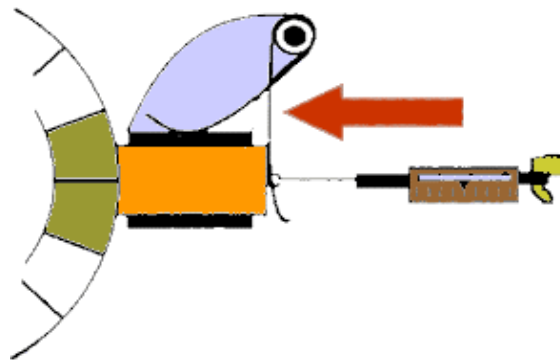
Escobillas rotas o astilladas. Las escobillas son frágiles y fácilmente se astillan o agrietan. No introduzca una escobilla en su lugar a la fuerza. Asegúrese de instalar las escobillas en tal forma que el ángulo en el extremo de la escobilla corresponda a la curvatura del colector.

Figura 124. Escobilla rota



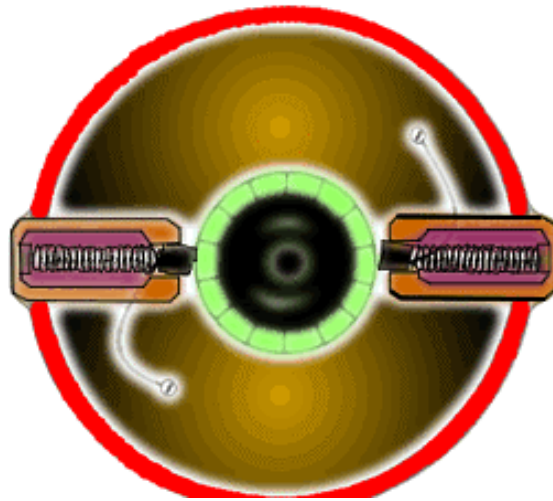
Resortes de escobillas débiles. Los resortes de escobillas pierden su tensión cuando se sobrecalientan normalmente como resultado de escobillas arqueadas. Deben reponerse los resortes débiles de escobillas.

Figura 125. Resorte de escobillas



Escobillas desgastadas y cortas. Se supone que los portaescobillas colocan con precisión las escobillas, en tal forma que toda la superficie terminal de la escobilla entre en contacto con el colector (conmutador). Las escobillas cortas no pueden colocarse con precisión.

Figura 126. Escobillas desgastadas



La corriente se concentrará en aquella parte de la escobilla que hace contacto con el colector y, así, se producirá el sobrecalentamiento, las barras quemadas o picadas de los colectores y las chispas.

Alambres de escobillas sueltos. Si una escobilla se desgasta al grado de que el cable flexible de conexión empotrado en ella, entre en contacto directo con el colector, este último se dañará. Conforme se desgastan las escobillas, los resortes de las escobillas se tensionan menos y no presionan la escobilla sobre el colector en forma suficiente. Algunos tipos de resortes de escobillas pueden ajustarse para compensar el desgaste; debe medirse la tensión y hacerse determinados ajustes siguiendo un plan regular.

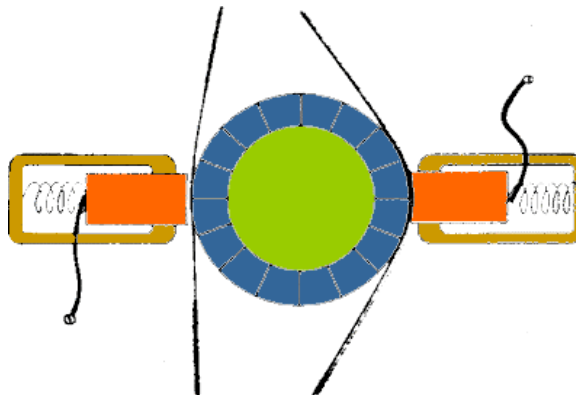
Figura 127. Alambres de escobillas sueltos



Fuente: CD. Máquinas de Corriente Directa Ingeniería Eléctrica UIS

Portaescobillas volteados, apretados, rotos o mal colocados. Los portaescobillas deben apretar las escobillas lo suficiente para evitar que vibren. Sin embargo, deben tener suficiente libertad para moverse hacia adentro y hacia fuera. Si una escobilla se pega en su portaescobilla no hará un buen contacto. Los portaescobillas deben colocarse suficientemente cerca del colector para soportar las escobillas, pero no tan cerca que los arcos brinquen entre el colector y el portaescobillas.

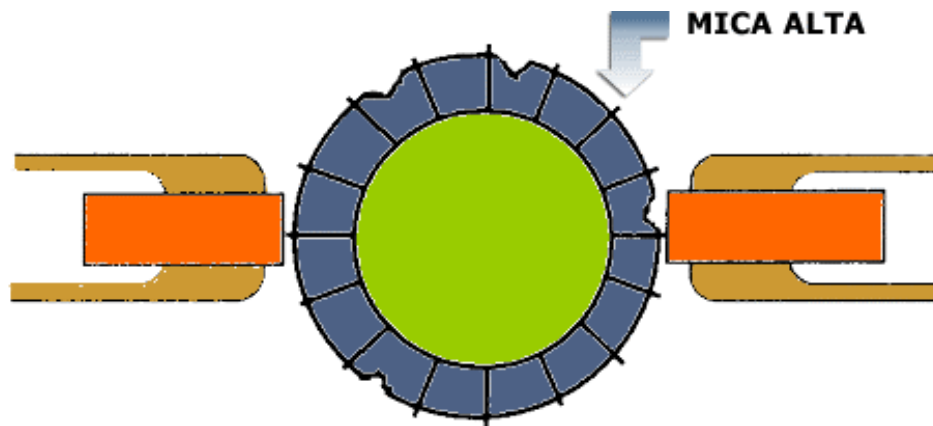
Figura 128. Posición de las escobillas dentro del portaescobillas



Colector desgastado o sucio. La mugre en el colector acelerará el desgaste. El aceite y la grasa no sólo interfieren con el buen contacto sino que, en

ocasiones, harán que las partículas conductoras de carbón o cobre se adhieran en las ranuras entre las barras del colector, produciendo cortos al unir las barras.

Figura 129. Colector desgastado



Un colector debe estar limpio, pero el cobre debe haber desarrollado un brillo café. Es posible que este brillo no se forme cuando el motor opere consistentemente bajo cargas ligeras o excesivas. Un color cobre brillante indica que el colector se está desgastando.

2.6.2.2 Problemas en el núcleo y en los devanados. Las láminas delgadas o laminaciones de acero especial utilizadas para fabricar el núcleo magnético de un motor deben satisfacer ciertos requisitos mínimos, como son:

- ✓ Espesor dentro de límites prefijados.
- ✓ Resistencia ínter laminar aceptable.
- ✓ Pérdidas magnéticas por debajo de cierto valor.
- ✓ Características mecánicas aceptables.
- ✓ Ausencia de rebabas

- ✓ Dimensiones dentro de tolerancias.

Problemas en el núcleo. Cuando se rebobina un motor averiado o cuando se realiza la inspección periódica de un motor, surgen en ocasiones dudas sobre el estado de la estructura o núcleo laminar del acero, y sobre si sus características habrán sido afectadas o no por algún desperfecto, por pequeño que parezca.

El núcleo laminar puede dañarse durante la operación del motor por varias causas, entre las que puede citarse:

- ✓ Contacto a tierra de una parte del devanado.
- ✓ Inundación del local donde se encuentra el motor.
- ✓ Rozamiento del rotor durante el funcionamiento por desbalanceo, sobrecalentamiento, avería de rodamientos, etc.

Contacto a tierra de una parte del devanado. Este defecto se nota por la sacudida que se recibe al tocar cualquier parte metálica del motor mientras se halla conectado. Si los contactos a masa son más de uno, se produce un cortocircuito, el cual quema el arrollamiento y hace saltar el fusible. La presencia de esta avería se detecta con la lámpara de prueba. La reparación se efectúa rebobinando el arrollamiento entero o bien reemplazando la bobina defectuosa.

Figura 130. Falla por contacto a tierra de una parte del devanado



Fuente: www.weg.com

Daños por agua u otras condiciones ambientales. La lluvia, el aire salino, el fuego cercano, el polvo, la arena y otros ambientes corrosivos o abrasivos pueden arruinar un motor. Por lo general, el motor falla debido a daños en el aislamiento. La humedad, la sal y cualquier otro material conductor en el aislamiento permitirá la tensión de salto que quema las secciones del aislamiento. Los vapores de solventes pueden suavizar o degradar algunos tipos de aislamiento y los abrasivos harán que se desgaste.

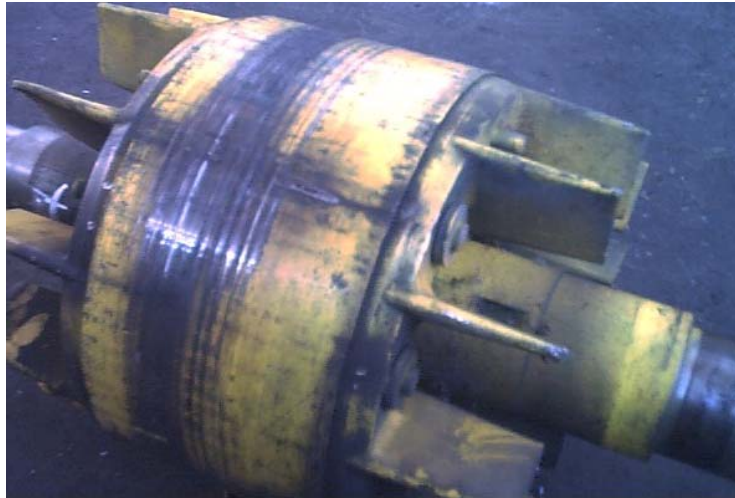
Figura 131. Falla por inundaciones



Fuente: Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Rozamiento del rotor durante el funcionamiento por desbalance, sobrecalentamiento, avería de rodamientos.

Figura 132. Falla por rozamiento del rotor contra el estator



- ✓ Desbalance
- ✓ Sobrecalentamiento
- ✓ Avería de rodamientos

Desbalance. El desequilibrio másico o Desbalance ocurre cuando el centro de masa de la pieza rotativa no coincide con el eje de rotación, debido a la existencia de una masa desequilibrada respecto a este eje de rotación. El desequilibrio puede ser causado por: falta de homogeneidad en el material, acumulación de masa por efecto del trabajo, desgaste, desplazamiento de piezas, excentricidad en los componentes del rotor, etc. Desbalance El desequilibrio másico o Desbalance ocurre cuando el centro de masa de la pieza rotativa no coincide con el eje de rotación, debido a la existencia de una masa desequilibrada respecto a este eje de rotación. El desequilibrio puede ser causado por:

Falta de homogeneidad en el material, acumulación de masa por efecto del trabajo, desgaste, desplazamiento de piezas, excentricidad en los componentes del rotor, etc.

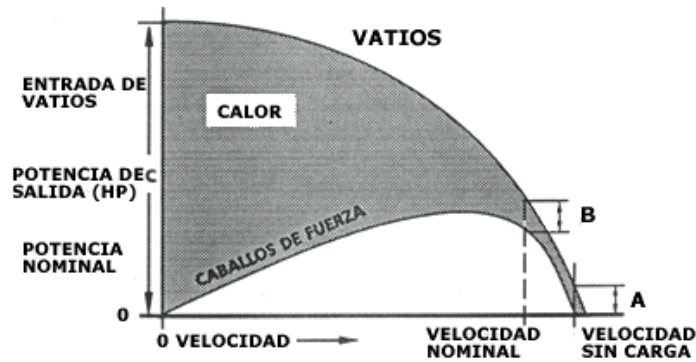
Figura 133. Verificación de desbalance



Fuente: Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Sobrecalentamiento. Cuando un motor esta funcionando sin carga, todos los vatios que le llegan se convierten en calor debido a la fricción de los cojinetes, la resistencia del aire y las pérdidas de núcleo (A). Sin embargo, como el motor no esta produciendo caballo de fuerza alguno, el voltaje general es bastante pequeño y el motor se calienta un poco. A la velocidad y potencia de salida nominales, el vatiaje es mucho mayor, lo mismo que los caballos de fuerza. La diferencia entre los vatios de entrada y los caballos de salida es moderada (B). El motor se calienta un poco, pero el calor se disipa con facilidad. Sin embargo cuando el motor funciona debajo de su velocidad nominal, la diferencia es grande y el motor se sobrecalienta (C), todos los vatios que entran se convierten en calor.

Figura 134. Curva de calentamiento



Fuente: Fotocopias libro Sena Girón Bucaramanga

Avería de rodamientos. Desde hace algunos años se utilizan rodamientos en los motores de potencia integral, porque presentan muchas ventajas para la instalación y el funcionamiento. No obstante, muchas averías de los motores tienen su origen en los rodamientos. En casi todos los casos, el análisis revela que los cojinetes fallan por la selección incorrecta, mantenimiento inadecuado y procedimientos impropios para reemplazarlos.

Figura 135. Falla típica en radamiento

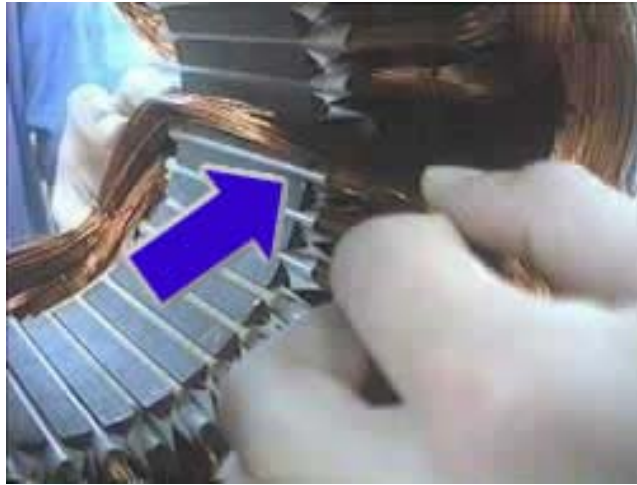


Problemas en los devanados. Los defectos y averías que se encuentran con más frecuencia al revisar devanados son:

- ✓ Devanado con contacto a tierra
- ✓ Espiras en cortocircuito en una o más bobinas
- ✓ Bobinas con cortocircuito en sus extremos
- ✓ Bobinas con conexión invertida
- ✓ Grupos de bobinas invertidos, o toda una fase invertida
- ✓ Distribución incorrecta de las bobinas en rotor o estator
- ✓ Conexión del devanado para un voltaje distinto del de operación
- ✓ Conexión del devanado para un número de polos incorrecto
- ✓ Falta de continuidad en el circuito de alguna fase
- ✓ Bobinas desconectadas en el devanado
- ✓ Interrupción en alguna fase.
- ✓ Corto circuito en una bobina o grupo.
- ✓ Conexión en paralelo interrumpida.
- ✓ Insuficiente tensión en la red.
- ✓ Interrupción en el reóstato de arranque.
- ✓ Interrupción del combinados estrella triangulo.
- ✓ Resistencia inicial del reóstato de arranque demasiado pequeña.
- ✓ Interrupción, por contactos quemados, del reóstato de arranque.
- ✓ Conexión equivocada del reóstato de arranque.
- ✓ Conexiones internas equivocadas.

Devanado con contacto a tierra. Este desperfecto consiste en un contacto franco o intermitente entre uno o varios conductores y el núcleo de hierro del estator. Puede encontrarse en un motor en el que, durante el trabajo normal, un aislamiento de ranura se haya deteriorado o una cuña se haya desplazado, o bien en un estator que se reparó sin el cuidado necesario. Por ejemplo, al formar los cabezales golpeándolos con un mazo puede romperse el aislamiento de una o varias ranuras.

Figura 136. Falla por contacto a tierra

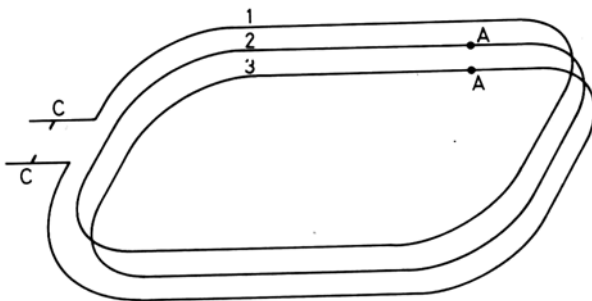


Fuente: www.emabobinados.com

Espiras en cortocircuito en una o más bobinas. Esto puede ocurrir cuando más de una espira hace contacto con el núcleo, con lo cual, además de una falla a tierra, se tiene un cortocircuito entre espiras; esto produce calentamiento excesivo y destruye con rapidez el aislamiento.

La falla puede ocurrir también sin que haya contacto con el núcleo, dos espiras contiguas pierden su aislamiento por un descuido del operario al alojarlas en la ranura, o por otra causa similar.

Figura 137. Cortocircuito entre espiras



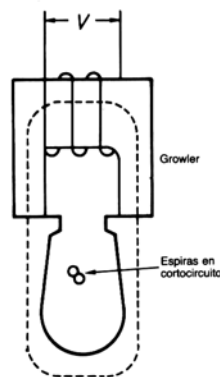
Fuente: www.emabobinados.com

Un cortocircuito entre espiras puede localizarse operando el motor sin carga durante varios minutos y tocando después las bobinas; la que tenga espiras en cortocircuito se calentará más que el resto del devanado, lo cual permitirá identificarla.

Otra forma de localizar espiras en cortocircuito cuando se ha desmontado el rotor consiste en hacer pasar un growler (una especie de electroimán en forma de herradura que actúa como un transformador de núcleo abierto). Cuando este aparato se desliza por el interior del estator que se prueba, al pasar sobre la ranura que contiene conductores en corto éstos actúan como el secundario en cortocircuito de un transformador, con lo cual se intensifica la corriente en la bobina del growler y por tanto se incrementa también el campo magnético producido.

Esto puede detectarse por medio de una indicación luminosa como la de una lámpara de neón, o de una indicación sonora, o bien por la vibración de una lámina de acero al ser atraída por las espiras en cortocircuito.

Figura 138. Detección de espiras en cortocircuito por medio de un growler



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

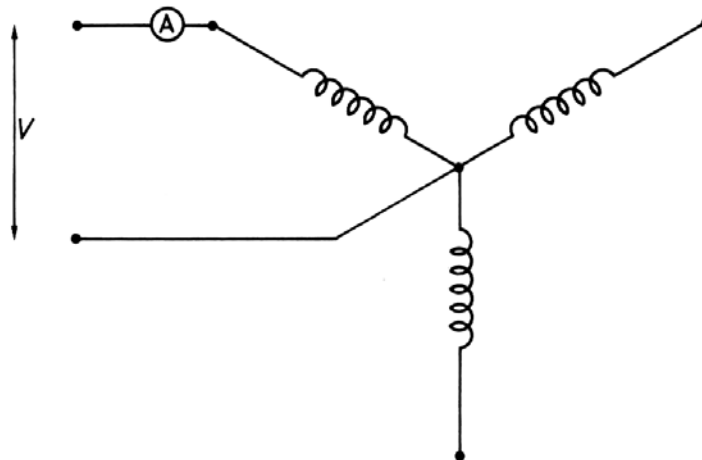
Bobinas con cortocircuito en sus extremos. Esta falla es similar a la anterior, pero afecta a una bobina completa cuando sus extremos se ponen en contacto.

Como cada espira representa cierto número de voltios, el hecho de que todas las espiras de una bobina se pongan en cortocircuito produce un efecto mucho mayor y, por tanto, más fácil de detectar que en el caso de un corto entre espiras. Cuando el cortocircuito abarca las bobinas correspondientes a todo un polo, es más fácil localizarlo aplicando un voltaje de corriente directa del orden del 30 % del nominal a cada fase del devanado y pasando una brújula por la parte circunferencial interna del estator. La brújula deberá señalar alternativamente polos norte y sur, con deflexión a uno y otro lado. En caso de un corto en un grupo de fase, la brújula no experimentará deflexión, con lo cual quedará localizado el grupo defectuoso.

Si el cortocircuito abarca una fase completa puede ser detectado por medio de una prueba de balance o equilibrio de fases en la cual se aplica un voltaje reducido de corriente alterna a cada fase, y se lee la corriente para verificar que la impedancia de las tres fases sea uniforme.

En un estator conectado en estrella puede aplicarse entre el neutro y cada terminal una tensión de casi (1/5) de la nominal.

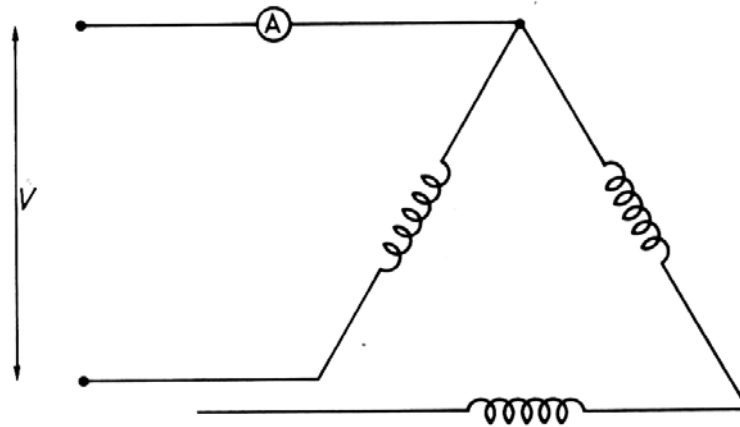
Figura 139. Prueba de balance de fases en conexión estrella



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Si el estator está conectado en delta es necesario abrir uno de los vértices, como se indica, para poder hacer la prueba en cada fase.

Figura 140. Prueba de balance de fases en conexión delta

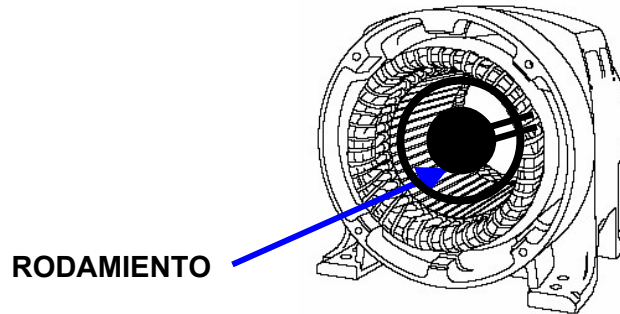


Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Bobinas con conexión invertida. Cuando hay una sola bobina con conexión invertida, su presencia puede detectarse por medio de la prueba de la brújula, ya que en la prueba de balance de fases no se obtendría una indicación muy clara del defecto. En aquella prueba, la brújula tenderá a invertir su posición al pasar sobre la bobina conectada en forma invertida.

Otra forma de comprobar que la conexión de las bobinas es la correcta consiste en recorrer la parte circunferencial interior del estator con un rodamiento montado en un tramo de eje (flecha), mientras se alimenta el devanado con un voltaje no mayor del 20 % del nominal. Si las conexiones son correctas, el rodamiento girará en forma continua en toda la circunferencia, mientras que al pasar por donde se encuentra una bobina invertida, el cojinete tenderá a frenarse, lo cual permitirá localizar la posición de la bobina incorrectamente conectada.

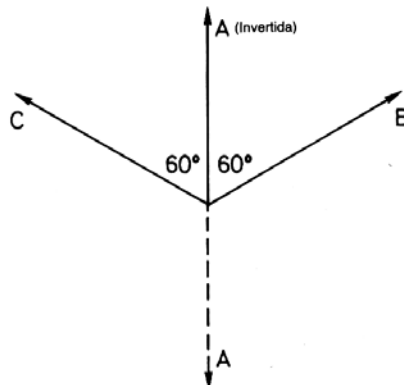
Figura 141. Comprobación de las conexiones con un rodamiento



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Grupos de bobinas invertidos o toda una fase invertida. Es fácil que el bobinador invierta de manera inadvertida las bobinas de todo un grupo o de una fase completa, con lo cual se crea distorsión del campo magnético, con los consiguientes problemas de ruido y calentamiento en el primer caso, e incapacidad total de rotación en el segundo, ya que la fase invertida formará un ángulo de 60° en vez de uno de 120° con las dos fases restantes, lo cual equivale a tener un campo magnético rotatorio en una sentido y otro en sentido inverso.

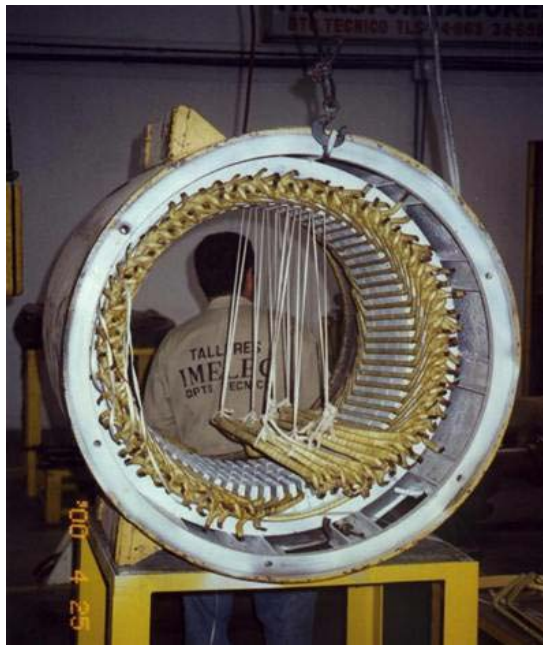
Figura 142. Voltajes inducidos en un devanado con una fase invertida



Distribución incorrecta de las bobinas. Este defecto resulta cuando el

operario comete un error al contar las bobinas de un grupo y omite una, o bien conecta una de más. Por lo general, este defecto puede encontrarse haciendo una verificación cuidadosa en el devanado. Este problema se presenta con mayor facilidad cuando se tiene un devanado en el que el número de bobinas por polo y por fase resulta un número fraccionario, por lo que no todos los grupos tienen el mismo número de bobinas.

Figura 143. Distribución incorrecta



Conexión del devanado para un voltaje distinto del de operación. Cuando se trata de un devanado para operación a dos voltajes en proporción de 2 a 1, el defecto se detecta fácilmente. Si el motor está conectado para la mitad del voltaje al que va a operar, la corriente sin carga resulta muy elevada y se produce un fuerte zumbido al poner en marcha el motor. Si, por el contrario, el motor está conectado para el doble del voltaje de operación, la corriente sin carga resulta demasiado baja y el motor tiende a frenarse cuando se le aplica carga.

Si la diferencia entre el voltaje de operación y el voltaje para el que fue conectado el motor no es tan notable como en el caso anterior, la definición del problema resulta más complicada, y si no se tienen datos definidos, probablemente la única forma sencilla de encontrar una solución sea probar el motor a rotor bloqueado con valores crecientes de voltaje, a fin de poder decidir la forma de reagrupar las bobinas o reconectarlas para que el motor funcione correctamente al voltaje disponible.

Figura 144. Verificación del voltaje en los devanados



Conexión del devanado para un número de polos incorrecto. Al probar el motor sin carga (o en vacío), se comprueba fácilmente si la velocidad corresponde al número de polos que el motor debe tener. De no ser así, deberán estudiarse las posibilidades de reconectar el devanado para obtener el número de polos deseado.

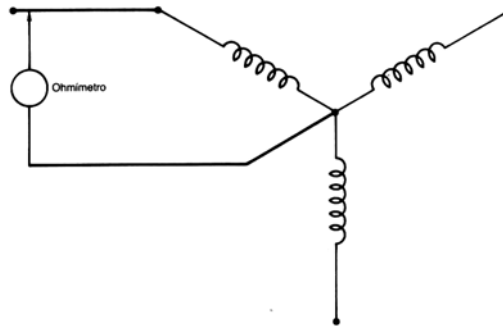
Figura 145. Conexión del devanado



Falta de continuidad en el circuito de alguna fase. La falta de continuidad en una fase puede ser consecuencia de una soldadura deficiente al momento de hacer las conexiones, o de la ruptura de uno de los conductores durante el proceso de embobinado.

Si la conexión del motor es en serie, éste no arrancará por tener sólo alimentación monofásica, y si dicha conexión es en estrella, podrá localizarse con facilidad cuál es la fase abierta utilizando la lámpara de prueba o un ohmímetro, o aplicando una tensión reducida al motor para hallar la fase en que la corriente es nula.

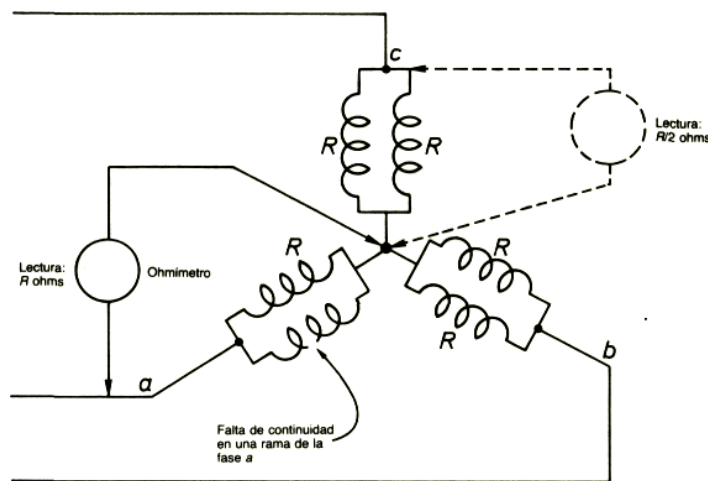
Figura 146. Prueba para localizar la fase con falta de continuidad utilizando un ohmiómetro. Conexión serie-estrella



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Si se trata de una conexión en estrella y dos paralelos, mediante un ohnímetro podrá verificarse cuál es la fase que contiene el defecto; su resistencia será igual al valor de las dos fases restantes. Posteriormente será necesario desconectar las dos ramas de la fase averiada para precisar en cuál de las dos reside la falta de continuidad.

Figura 147. Uso del ohmímetro para identificar la fase que tiene una rama abierta en un motor con conexión dos paralelos-estrella

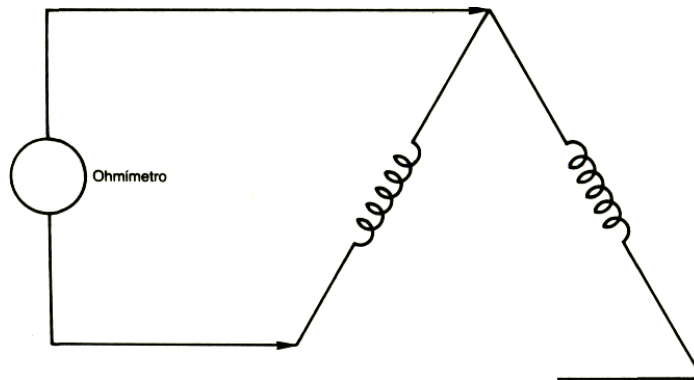


Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

En el caso de una conexión en delta, deberá abrirse uno de los vértices o esquinas de la delta para poder determinar la fase abierta.

Figura 148. Prueba con el ohmiómetro para localizar una fase abierta.

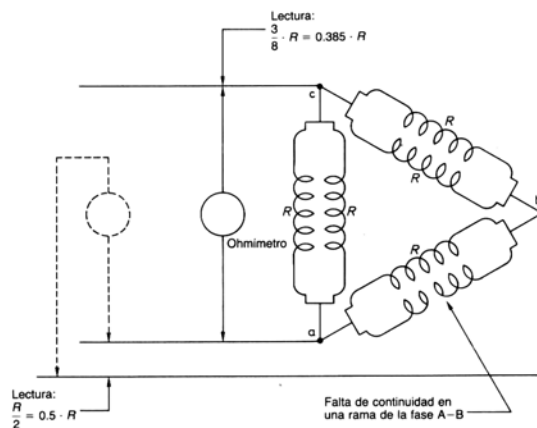
Conexión serie-delta



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Una vez abierta la delta, la interrupción podrá detectarse por medio de una lámpara de prueba o un ohnímetro, o bien aplicando un voltaje de prueba con valor bajo entre las terminales de cada fase.

Figura 149. Uso del ohmímetro para identificar la fase que tiene una rama abierta en un motor conectado en dos paralelos-delta



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Para una conexión en delta-dos paralelos, la mejor opción consistirá en medir la resistencia entre terminales. Si la delta está ya abierta, la resistencia en la fase que contiene la interrupción causará una lectura del doble de las otras dos fases. Si la comprobación se hace antes de abrir la delta, la lectura más alta que se obtenga midiendo en cada par de terminales será indicativa de la fase que tiene la interrupción.

Para una conexión en delta-dos paralelos, la mejor opción consistirá en medir la resistencia entre terminales. Si la delta está ya abierta, la resistencia en la fase que contiene la interrupción causará una lectura del doble de las otras dos fases. Si la comprobación se hace antes de abrir la delta, la lectura más alta que se obtenga midiendo en cada par de terminales será indicativa de la fase que tiene la interrupción.

En efecto, la resistencia equivalente que indicará la lectura del ohmímetro entre las terminales a y b será igual a la mitad de la resistencia R de cada rama de la delta, mientras que la resistencia entre b y c, o entre a y c, será igual al 38.5 % del mismo valor R.

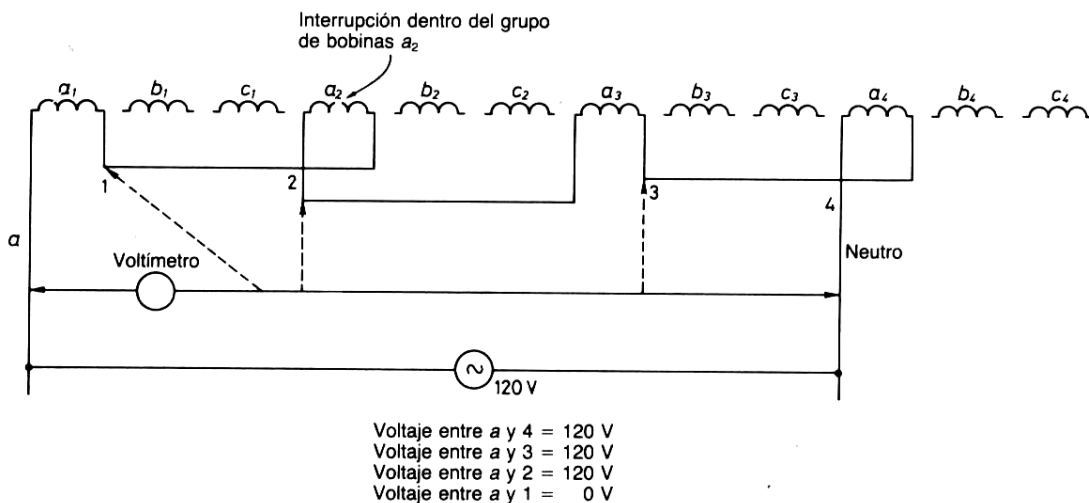
Desde luego que la lectura del ohnímetro sólo indicará entre qué par de terminales está el problema, y posteriormente será necesario desconectar las dos ramas en paralelo para precisar en cuál de ellas deberá buscarse la falta de continuidad.

Una vez localizada la rama que tiene el defecto es posible concentrar la atención en las bobinas que la forman, a fin de encontrar el lugar exacto de la falla. Una manera de lograrlo consiste en aplicar un voltaje relativamente bajo a los dos extremos de la cadena de bobinas, e ir verificando con un voltímetro la diferencia de tensión hasta localizar el grupo en que reside el problema. Si

una vez identificado dicho grupo no se puede apreciar la avería a simple vista, es posible repetir el procedimiento de aplicar voltaje sólo a este grupo, a fin de obtener. Una indicación precisa de cuál es la bobina o la conexión con el desperfecto.

Lo anterior puede explicarse más claramente haciendo referencia a la figura 5-35, donde se representa de manera esquemática el devanado de un motor de cuatro polos. Supóngase que, por alguno de los métodos antes descritos, se ha llegado a la conclusión de que la fase a tiene una falta de continuidad.

Figura 150. Localización por medio de un voltímetro de un grupo de bobinas abierto



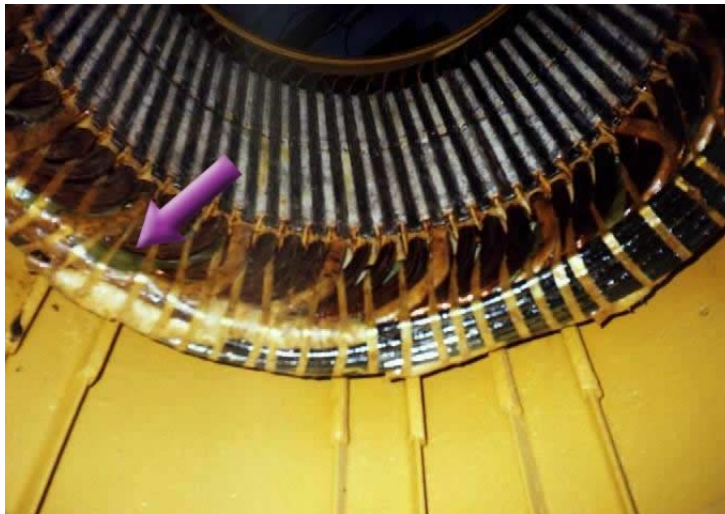
Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Si se aplican 120 V entre la terminal a y el neutro, y se verifican las diferencias de voltaje a lo largo de la cadena, se descubrirá que entre la terminal a y los puntos 4, 3 y 2 el voltímetro indica 120 V, mientras que entre a y el punto 1 la lectura voltimétrica es de cero, lo cual indica que el problema está en el grupo a_2 . Un examen similar en el grupo a_2 revelará cuál es la bobina abierta o la

conexión incorrecta.

Bobinas desconectadas en el devanado. Cuando se emplean bobinas individuales para formar un grupo, es factible que el operario deje fuera de servicio alguna de ellas, la cual quedará dentro de la ranura como «bobina muerta». Si el devanado consiste en un número reducido de bobinas, la localización de una bobina carente de conexión será relativamente fácil, ya sea por medio de una inspección visual o por una prueba de balance de fases. Sin embargo, cuando se tiene un gran número de bobinas en sucesión, la tarea se torna muy difícil, especialmente si las conexiones están ocultas dentro del propio devanado.

Figura 151. Bobinas desconectadas



Interrupción en alguna fase. Una interrupción en alguna parte del arrollamiento puede presentarse estando el motor en marcha. En este caso el motor continúa funcionando aunque con mucha menos potencia. Puede existir la interrupción en alguna bobina o en la conexión entre dos grupos, e impedirá que el motor arranque.

También puede ser la causa de tal avería un hilo roto o alguna conexión floja.

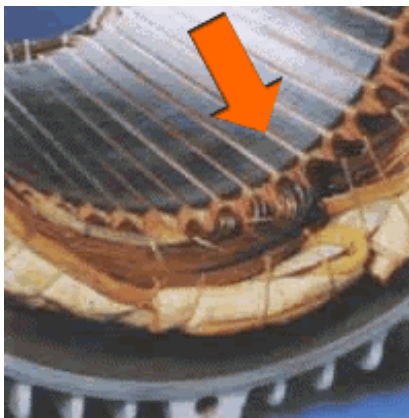
Figura 152. Falla por interrupción en una fase



Fuente: www.weg.com

Corto circuito en una bobina o grupo. Un cortocircuito en el arrollamiento suele ocasionar una marcha ruidosa y el desprendimiento de humo. Cuando por un motivo cualquiera falta el aislamiento del hilo de los arrollamientos, al entrar varias espiras en contacto directo se forma un cortocircuito en la bobina, que acaba por quemarse, y sucesivamente se va transmitiendo la avería a las bobinas contiguas hasta quedar afectado el grupo completo.

Figura 153. Falla por cortocircuito en una bobina



Fuente: www.weg.com

Conexión en paralelo interrumpida. Este defecto es causa de que el motor emita un zumbido, característico durante el funcionamiento. Además, la potencia queda notablemente reducida. Se repasarán cuidadosamente todos los circuitos en paralelo.

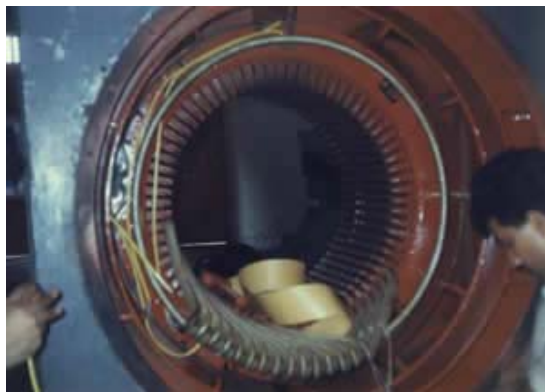
Figura 154. Verificando conexiones internas en motores eléctricos



Fuente: www.emabobinados.com

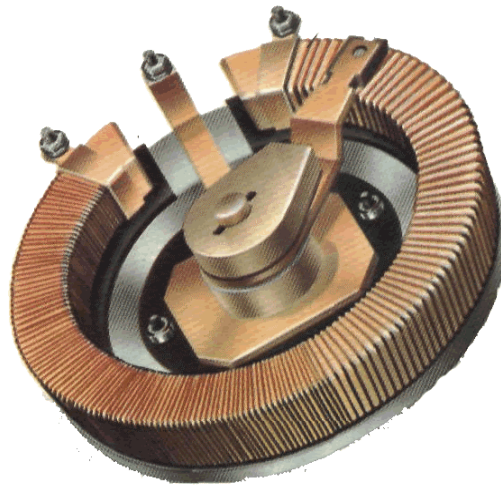
Insuficiente tensión en la red. Se comprueba comparando la medición efectuada con la tensión que consta en la placa de características del motor. Si la tensión es insuficiente, y no se dispone de otra superior, hay que rebobinar el estator, o utilizar otro motor.

Figura 155. Rebobinación de motores eléctricos



Interrupción en el reóstato de arranque. Avería que puede tener lugar en los motores con rotor de anillos, que utilizan un reóstato para el arranque. Una interrupción en alguna de las resistencias del reóstato de arranque libera el cortocircuito de los tres anillos Rozantes, lo que es causa suficiente para que el motor no pueda arrancar o, si ello sucede durante la marcha del motor girara con lentitud y se calentará. Es necesario comprobar aparte, el perfecto estado del reóstato.

Figura 156. Reóstato



Interrupción de los combinados estrella triángulo. Para facilitar el arranque de un motor asíncrono trifásico, resulta ventajoso aplicarle primero la tensión correspondiente a la conexión estrella, pasando seguidamente a la conexión en triángulo, que corresponde a la marcha normal del motor.

Dicha maniobra se efectúa mediante un inversor tripular llamado combinado estrella triángulo, una interrupción del combinado equivale a dejar el motor como monofásico, produciendo ruido, calentándose y perdiendo potencia, esto no debe permitirse ya que se pueden quemar los arrollamientos.

Figura 157. Caja de bornes o terminales del motor



Resistencia inicial del reóstato de arranque demasiado pequeña. Si esto sucede, la intensidad de la corriente de arranque que atraviesa el arrollamiento del rotor es muy elevada, provocando un arranque brusco y poniendo en peligro el arrollamiento. La resistencia del reóstato de arranque es nula en la posición correspondiente a la velocidad de régimen del motor. Si el reóstato no recupera automáticamente su posición de arranque al parar el motor estando directamente cortocircuitados los anillos. Esto originaría un violento arranque, pudiendo destruir el arrollamiento del rotor.

Es necesario verificar la posición del reóstato de arranque antes de conectar el motor. Si el motor arranca bruscamente pero funciona bien a velocidad de régimen (sin ruido ni calentamiento), habrá que buscar la avería en el reóstato de arranque. Si no está quemado ninguno de sus contactos, y está limpio, hay que modificar las resistencias del reóstato, aumentándolas.

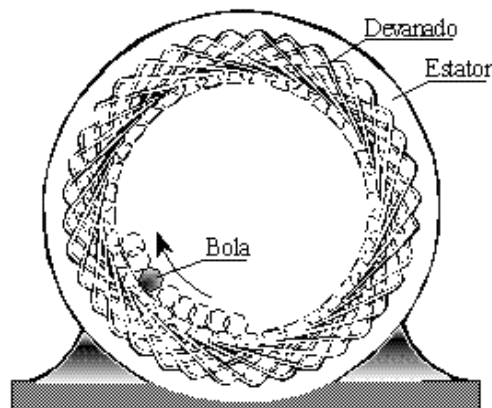
Interrupción, por contactos quemados, del reóstato de arranque. El reóstato de arranque intercala unas resistencias que se van eliminando progresivamente a medida que el motor toma velocidad. Pero si alguno de los contactos del reóstato estuviese quemado, habría una interrupción

pasajera, y solo al saltar al siguiente contacto se renovarían el cortocircuito de los anillos. La supresión de uno de los grupos de resistencias determina que su eliminación no tenga lugar de modo progresivo, sino con un salto, lo que se traduce a un arranque brusco del motor. Limpie y repare los contactos del reóstato.

Conexión equivocada del reóstato de arranque. Hay que comprobar la conexión del reóstato de acuerdo con el plano de conexión. Si hay dudas, se miden las resistencias, en las dos posiciones extremas. En la posición correcta para el arranque, se debe leer la resistencia mayor. En la posición de velocidad de régimen del motor, la resistencia medida debe ser nula.

Conexiones internas equivocadas. El mejor método para comprobar si las conexiones internas en un motor han sido bien hechas consiste en, conectar el estator a la red y disponer una bola de cojinete de gran tamaño en el interior del estator como se indica.

Figura 158. Conexiones internas equivocadas



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

2.6.2.3 Problemas mecánicos en motores eléctricos. Una carga excesiva puede dañar con rapidez un motor; puede que sea del tamaño apropiado para la carga, pero una variación en esta o en el mecanismo eléctrico puede producir una sobrecarga.

Los cojinetes empezarán a fallar, los engranajes pueden trabarse, o pueden presentarse otras causas de fricción o cargas extras. En este caso, el motor consumirá más corriente y se incrementará su temperatura. Si la corriente del motor excede del amperaje nominal a plena carga, aunque sea por un tiempo breve, el rápido sobrecalentamiento reducirá la duración del motor. Entre las fallas mecánicas más frecuentes que se presentan en los motores eléctricos tenemos:

- ✓ Eje torcido.
- ✓ Un cojinete desgastado.
- ✓ Cojinetes agarrotados.
- ✓ Cuerpo extraño en el entre hierro.
- ✓ Sobrecarga excesiva.
- ✓ Montaje defectuoso de la máquina.
- ✓ Los escudos mal colocados.
- ✓ Roce del estator con el rotor.
- ✓ Cojinetes demasiado ajustados.
- ✓ Chapas mal apretadas.
- ✓ Escobillas mal ajustadas.
- ✓ Anillos rozantes picados o desgastados.
- ✓ Barras del rotor flojas.

Eje torcido. Puede ser causa del desgaste de los cojinetes o del recalentamiento de un motor debido al gran rozamiento del eje con los cojinetes.

Para cerciorarse de tal avería, se coloca el rotor entre las puntas de un torno, se pone en marcha y si el eje esta torcido se observará un ligero movimiento de vibración.

Figura 159. Problema mecánico por eje torcido



Fuente: <http://www.epri.com/journal/details.asp?id=577&doctype=projects>

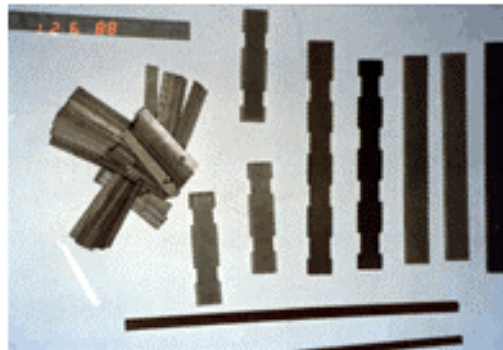
Cojinetes desgastados. Cuando los cojinetes están desgastados el rotor roza contra el estator y la marcha del motor es ruidosa. Si el desgaste de los cojinetes es tal que el rotor queda plenamente descansando sobre el núcleo estatórico, la rotación del motor es imposible. Si el motor es pequeño, para detectar esta anomalía se trata de mover un extremo del eje del rotor hacia arriba y hacia abajo como se indica en la figura #. Si dicho movimiento resulta posible, uno de los cojinetes esta desgastado. En tal caso desmóntese el rotor e inspecciónese el núcleo del mismo para ver si presenta señales de roce con el estator. Esto confirmará el mal estado de uno o ambos cojinetes, que deberán ser reemplazados.

Figura 160. Verificación del estado de los cojinetes



Cuando el motor es grande, el estado de los cojinetes se comprueba mediante un calibre de lámina como el representado en la figura #.

Figura 161. Láminas de verificación de espacio entrehierro



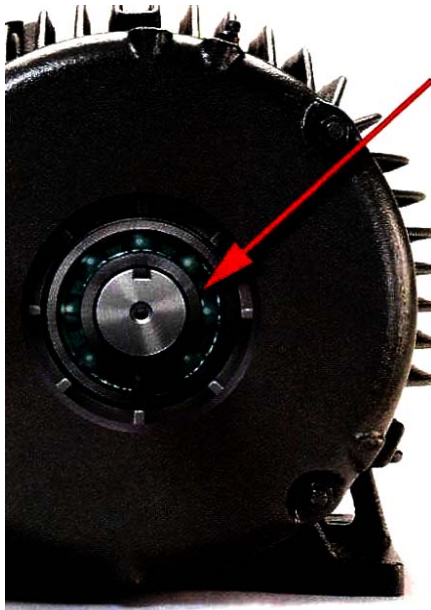
Si los cojinetes se hallan en buenas condiciones, el entrehierro (espacio de aire existente entre el rotor y el estator) debe ser el mismo en cualquier punto de la periferia, si se encuentran diferencias, es que los cojinetes están desgastados figura 162

Figura 162. Cojinete desgastado



Cojinetes Agarrotados. Debido a una dilatación provocada por sobre calentamiento, los cojinetes pueden llegar a soldarse al eje del motor agarrotándolo. Se suele decir entonces, que los cojinetes están agarrotados. Si el rotor no se puede girar a mano es muy probable que esto suceda.

Figura 163. Rodamiento soldado al eje



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Si el eje estuviese dañado, hay que tornearlo a un diámetro ligeramente inferior al original, utilizando nuevos cojinetes.

Cuerpo extraño en el entre hierro. Si en el entre hierro esto es, en la estrecha zona de aire existente entre el rotor y el estator, se han introducido cuerpos extraños (virutas metálicas, restos de conductores, barniz de impregnación, etc...), estos dificultarán el giro del motor y producirán ruido o llegarán a impedir el giro de la máquina, si abultan mucho y son resistentes. Hay que eliminar estos cuerpos extraños.

Figura 164. Inspección de esta zona estrecha del motor



Sobrecarga excesiva. Para saber si un motor trabaja sobrecargado retire el sistema de transmisión (polea, acople, cadena, engranaje, etc.), del motor y trate de hacer girar a mano el eje al cual esta acoplado la carga, si este gira se determina que el problema es externo es decir falla mecánica.

Figura 165. Desacople del motor de la carga impulsada

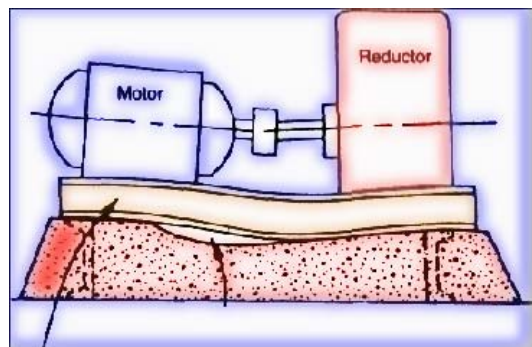


Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Montaje defectuoso de la máquina. Los defectos de montaje suelen ocasionar ruidos mecánicos y marcha irregular del motor, los ruidos anormales de origen mecánico pueden distinguirse fácilmente de los motivados por anomalías eléctricas.

Para diferenciarlos basta, una vez que el motor ha alcanzado la velocidad de régimen, desconectar la máquina de la red; si el ruido anormal persiste, solo puede tener una causa mecánica (entrehierro irregular, cuerpos extraños en el entrehierro, patea de transmisión, etc.).

Figura 166. Defecto por montaje



Fuente: fotocopia libro biblioteca UIS

Los escudos mal colocados. Deben adaptarse perfectamente a la carcasa del motor porque de lo contrario los cojinetes no quedan alineados y el eje podría doblarse o los cojinetes desgastarse.

Figura 167. Escudo con las pistas desgastadas



Cojinetes demasiado ajustados. La falta de engrase, o un aceite defectuoso (sucio, de mala calidad, etc.) pueden ocasionar el sobrecalentamiento de los cojinetes y de ello el apriete excesivo de los mismos, que atenazan el eje, o se puede agarrotar. Unos cojinetes demasiado ajustados pueden reconocerse, tras un rato de funcionamiento del motor, por su elevada temperatura.

Figura 168. Falla típica de cojinete por mal ajuste



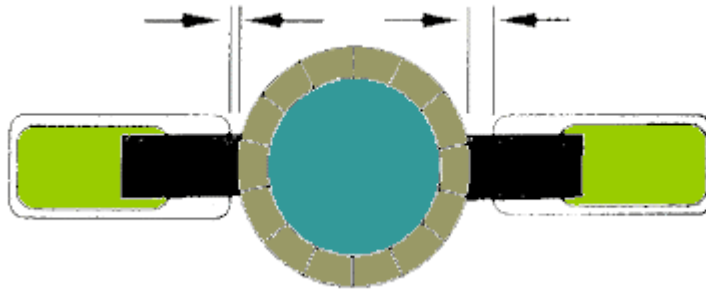
Chapas mal apretadas. Las chapas del paquete del estator, así como las del rotor, deben estar fuertemente comprimidas; de lo contrario varían las conexiones magnéticas de la máquina y el motor absorbe una intensidad de corriente excesiva.

Figura 169. Revisión de chapas de un estator



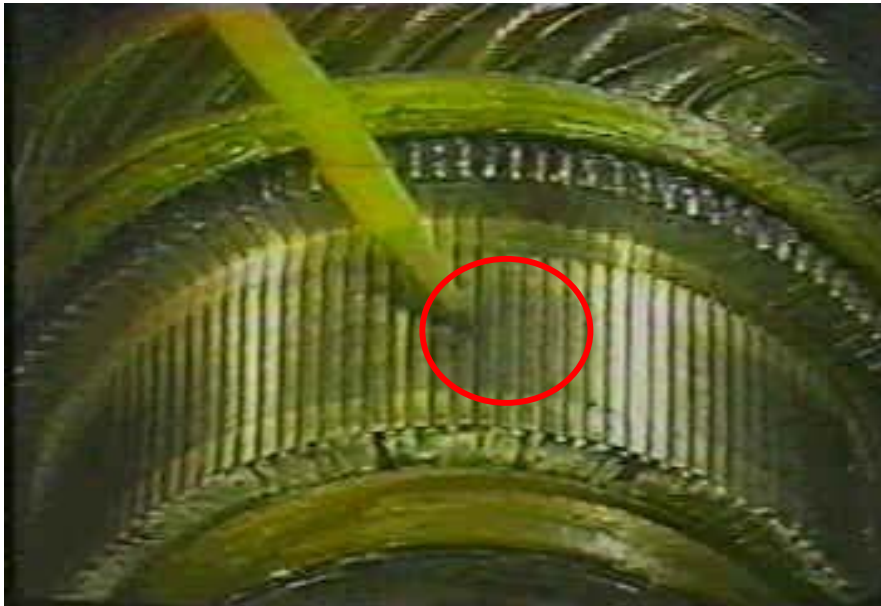
Escobillas mal ajustadas. Si las escobillas no resbalan bien en su portaescobillas, se pueden producir chispas, durante la marcha del motor, que acabaran por inutilizar los anillos Rozantes. Este defecto se puede comprobar a simple vista, con el motor en marcha. Las escobillas deben deslizarse en sus alojamientos sin dificultad, pero sin excesivo juego.

Figura 170. Ajuste de escobillas



Anillos rozantes picados o desgastados. La superficie de contacto de los anillos Rozantes deben estar bien torneada y rectificada, para que presenten una sección pulida y concéntrica con el eje del rotor.

Figura 171. Anillos rozantes averiados por mal ajuste de escobillas



Si los anillos Rozantes están picados, pueden ocasionar pequeños saltos de las escobillas cuando el motor gire y por tanto pueden saltar chispas de color no característico (color amarillo).

Barras del rotor flojas. En los motores con rotor de jaula, están las barras en cortocircuito en ambos extremos por medio de dos aros de cobre, si una o varias barras se aflojan y no establecen buen contacto con los aros, el motor no funciona con normalidad y en algunos casos el rotor no gira; una barra floja puede localizarse por pura inspección.

Figura 172. Barras flojas



Una señal característica de esta avería es el ruido, la falta de potencia y las chispas que se producen entre las barras y los aros frontales de la jaula de ardilla. El remedio consiste en afianzar con soldadura las barras flojas o remacharlas.

2.6.2.4 Problemas durante el arranque de motores eléctricos. Cuando el motor no arranca, a pesar de estar conectado a una red de alimentación y a la tensión de servicio, se pueden presentar las siguientes condiciones en los motores:

El motor no arranca. Los problemas más frecuentes que se presentan pueden ser:

- ✓ Falta de corriente.
- ✓ Rotura de alguna conexión.
- ✓ Chumaceras o baleros en mal estado.
- ✓ Alguna bobina abierta.

- ✓ Conexiones del devanado mal hechas en caso de haberse reparado.
- ✓ En ocasiones sobrecarga debido a frenamiento de alguna máquina o tensión excesiva de bandas.

Falta de corriente. Las lecturas de la corriente deben ser tomadas cuando el motor esté trabajando duro. Una lectura de corriente que es superior a la observada cuando el motor se puso por primera vez en servicio, significa que la carga del motor se ha incrementado un poco o que el motor tiene defectos. Esta falla ocurre cuando el motor no opera y parece estar totalmente muerto. La corriente medida en cualquier línea hacia un motor monofásico de CA. Debe ser la misma sin importar que la línea esté puesta, o no, a tierra. Si la corriente no es la misma en ambas líneas, hay un corto a tierra en el motor.

La corriente medida en cada línea de energía hacia un motor de CD. Debe ser siempre la misma, a pesar de que la dirección de la corriente sea opuesta en las dos líneas. La corriente en las tres líneas de energía hacia un motor trifásico debe ser igual. La variación permisible depende de la aplicación, pero con frecuencia no es superior a un pequeño porcentaje.

Mida el voltaje en las líneas que van hacia el arrancador. El voltaje normal eliminaría el suministro de energía. Si ve que no hay voltaje, esto elimina el motor y la sección de control como causa probable del problema. El voltaje proveniente del suministro de energía no está llegando al arrancador.

Rotura en alguna de las conexiones. Esta falla ocurre cuando no se presenta continuidad en el sistema ya sea en el suministro de energía, en el panel de control o en el propio motor.

Posible causa

- ✓ La sección de control no está pasando energía al motor.
- ✓ Hay un circuito abierto en el motor o en las líneas que van hacia él.

Posible solución

Vaya al panel principal. Si están bien los fusibles y los disyuntores, verifique el voltaje en las líneas de energía que entran al panel. Si no hay voltaje, hay un problema con la fuente de energía; posiblemente un transformador malo o una línea sin funcionar.

Figura 173. Verificación de continuidad en las conexiones internas



Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS

Chumaceras o baleros en mal estado. Esta falla ocurre cuando el motor es sometido a sobrecargas excesivas, mala o escasa lubricación de los cojinetes. Estos defectos producirían la falta de potencia, la operación lenta y una

tendencia al atascamiento y a disparar los dispositivos de protección contra sobrecarga.

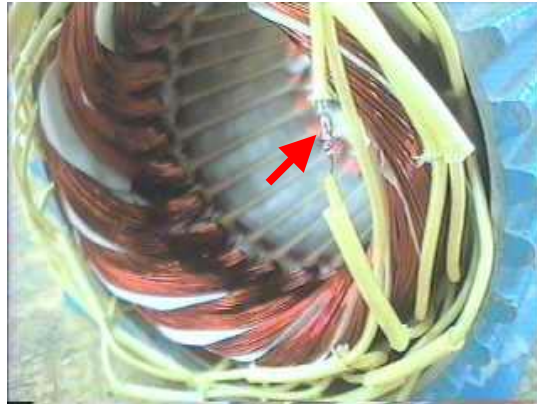
Figura 174. Chumacera defectuosa



Posible solución. Por lo general, la inspección ayuda a encontrar los problemas mecánicos; esto se logra escuchando con atención, posiblemente con la ayuda de un estetoscopio y verificando, con un indicador de cuadrante, si el eje está suelto o desviado.

Alguna bobina abierta. Cuando se emplean bobinas individuales para formar un grupo, es factible que el operario deje fuera de servicio alguna de ellas, la cual quedará dentro de la ranura como «bobina muerta». Si el devanado consiste en un número reducido de bobinas, la localización de una bobina carente de conexión será relativamente fácil, ya sea por medio de una inspección visual o por una prueba de balance de fases. Sin embargo, cuando se tiene un gran número de bobinas en sucesión, la tarea se torna muy difícil, especialmente si las conexiones están ocultas dentro del propio devanado.

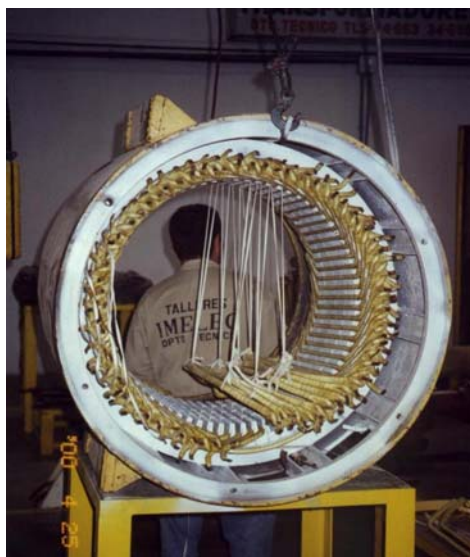
Figura 175. Bobinas abiertas



Fuente: www.emabobinados.com

Conexiones del devanado mal hechas. Este defecto resulta cuando el operario comete un error al contar las bobinas de un grupo y omite una, o bien conecta una de más. Por lo general, este defecto puede encontrarse haciendo una verificación cuidadosa en el devanado. Este problema se presenta con mayor facilidad cuando se tiene un devanado en el que el número de bobinas por polo y por fase resulta un número fraccionario, por lo que no todos los grupos tienen el mismo número de bobinas.

Figura 176. Conexiones mal echas

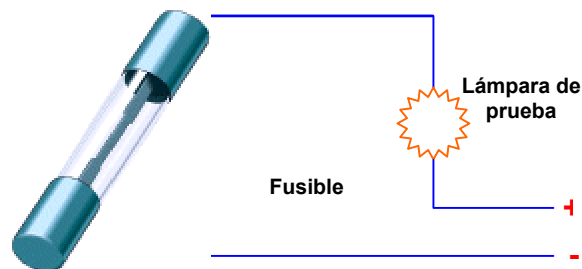


El motor no arranca al cerrar el interruptor, el defecto puede ser debido a:

- ✓ Fusible o elemento de protección interrumpido.
- ✓ Escobillas sucias o atascadas.
- ✓ Interrupción en el circuito del inducido.
- ✓ Interrupción en el circuito del inductor.
- ✓ Arrollamiento inductor en contacto a masa o con un cortocircuito.
- ✓ Inducido o colector con un corto circuito.
- ✓ Cojinetes desgastados.
- ✓ Contactos a masa de un portaescobillas.
- ✓ Sobrecarga.
- ✓ Reóstato defectuoso.

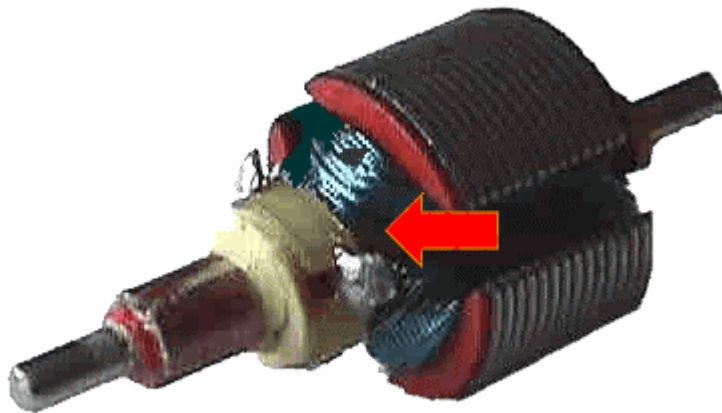
Fusible o elemento de protección interrumpido. Se quita cada fusible y se verifica cada fusible con la lámpara de prueba, si la lámpara se enciende, el fusible está bueno; en caso contrario se debe reemplazar. Para verificar los fusibles sin necesidad de sacarlos de los portafusibles, se aplican los dos terminales de la lámpara de prueba sobre los extremos de cada fusible, si al cerrar el interruptor de alimentación se enciende la lámpara, el fusible verificado está interrumpido.

Figura 177. Verificación de fusibles



Interrupción en el circuito del inducido. Una bobina de inducido interrumpida será la causa de que se produzcan chispas en el colector y que el motor no alcance su velocidad de régimen. Examinando el colector se observaran manchas motivadas por quemaduras en las delgas a las que esta conectada la bobina averiada, un Terminal mal conectado a la delga puede ser también la causa de una interrupción. En tal caso se suelta el Terminal, se limpia y se vuelve a soldar a la delga correspondiente. Si la interrupción es debido a un hilo roto en la bobina, se unen las dos delgas a ambos lados de la mancha con un puente. Si en el colector hay mas de una mancha, se unirán con el puente solo un par de delgas y se pondrá el motor en marcha. Si desaparecen así las chispas no se unen más delgas.

Figura 178. Bobina defectuosa



Interrupción en el circuito del inductor. Toda interrupción en los arrollamientos serie o derivación impedirá el arranque del motor compound, pero si se interrumpe una bobina derivación estando el motor en marcha, puede resultar que el motor se “embale” si no trabaja a plena carga en los

inductores compound se presentan por lo regular cortocircuitos entre las bobinas serie y derivación, quemándose los hilos y quedando el circuito interrumpido.

Para reparar una interrupción en una bobina inductora, se saca del núcleo y se deshace o corta su aislamiento de cinta, si la interrupción se encuentra en alguna de las capas superiores, se quitan las últimas espiras y se empalma nuevamente el Terminal; unas pocas espiras menos no tienen prácticamente importancia. Si la avería se encuentra en el interior de la bobina, se reparará empalmado un nuevo hilo y arrollando un número de espiras igual al de espiras suprimidas.

Arrollamiento inductor en contacto a masa o con un cortocircuito. Un solo contacto a masa en un arrollamiento puede pasar inadvertido en un motor, en lo que a la normalidad de su funcionamiento se refiere; pero dos o más contactos a masa determinan ya un cortocircuito, que según su importancia puede hacer saltar un fusible o únicamente humear el arrollamiento.

La reparación del arrollamiento puede consistir en una simple renovación del aislamiento o bien exigir un rebobinado completo de aquel. Un arrollamiento con contacto a masa constituye en principio un peligro, pues cualquier persona que toque el motor puede recibir una descarga. En ciertos casos, que la carcasa del motor este conectada a tierra.

Inducido o colector con un corto circuito. Si en un inducido son varias las bobinas con corto circuito, o si más de una tiene contactos a masa, el inducido no girará. No obstante en algunos motores el inducido podrá girar lentamente, o bien solo media vuelta. Para localizar bobinas con cortocircuito

se dispone el inducido sobre la bobina de prueba y se verifica del modo corriente con la hoja de sierra. No obstante antes de empezar la prueba se rasparan bien las láminas de mica del colector, a fin de eliminar la posibilidad de que la causa sea un contacto entre delgas.

Esta falla se manifiesta con un calentamiento excesivo produciendo humo, si el cortocircuito es entre delgas contiguas se sueltan sus respectivos terminales y se sueldan encintándose el empalme si funciona bien no será necesario cortar la bobina. Las delgas con cortocircuito se aprecian con facilidad debido a su color característico.

Contactos a masa de un portaescobillas. Un portaescobillas con este defecto hace saltar los fusibles si la carcasa del motor va puesta a tierra, en particular si el motor trabaja a 230 voltios. Los portaescobillas se prueban con la lámpara. Primeramente se sueltan todos los hilos de los portaescobillas y se levantan las escobillas del colector. Con un Terminal de la lámpara se van tocando los portaescobillas y con el otro la carcasa del motor; si la lámpara se enciende, habrá un portaescobillas con contacto a masa. En tal caso se saca del puente el portaescobillas en cuestión y se aísla el punto o sitio afectado con arandelas de fibra o mica.

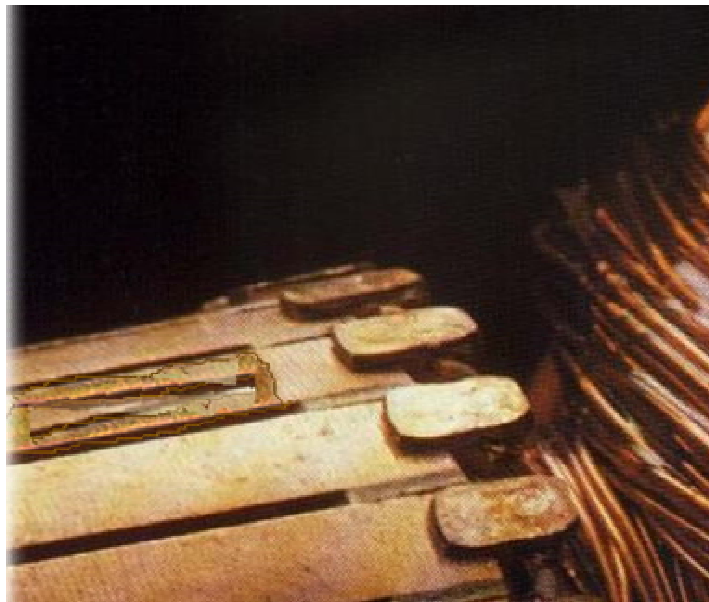
Reóstato defectuoso. Un reóstato de arranque o combinado defectuoso puede ser la causa de que se quemen los fusibles. La falta puede residir en el mecanismo del aparato de maniobra o en las conexiones de éste motor. En cualquiera de los casos, el operario encargado de la reparación debe ser una persona que conozca bien el mecanismo de arranque y su conexión al motor.

El motor marcha con ruido, las causas pueden ser:

- ✓ Cojinetes desgastados.
- ✓ Delgas salientes o hundidas.
- ✓ Colector defectuoso.
- ✓ Inducido desequilibrado.

Delgas salientes o hundidas. Son también causa de la producción de chispas en exceso alrededor del colector. Si el motor gira despacio, se vera claramente como se produce un chispazo cada vez que la escobilla pasa por encima de las delga defectuosa. Cuando el motor gira con rapidez, este efecto se convierte en una continua producción de chispas acompañada de ennegrecimiento del colector y trepidación continua de las escobillas. Las delgas salientes o hundidas se localizan fácilmente pasando el dedo sobre el colector. El remedio consiste en tornearse el colector o repararlo con una piedra y papel de lija de grano fino.

Figura 179. Delgas salidas



Colector defectuoso. Las escobillas no harán buen contacto con un colector ovalado, picado, quemado, áspero o dañado en alguna otra forma. La corriente de parada excesiva puede dañar aquellas barras del colector que se encuentren bajo las escobillas durante la parada en tal forma que las escobillas vibrarán y desgastarán rápidamente conforme el motor opera.

Figura 180. Colector defectuoso



Inducido desequilibrado. Todo los motores cuyos cojinetes o cuyo eje están desgastados marcha ruidosamente y con dificultad, debido al roce del estator con el rotor. La presunta existencia de estas anomalías queda confirmada por la posibilidad de mover el eje del rotor hacia arriba y hacia abajo si se tira de él con la mano.

Figura 181. Rotor desequilibrado

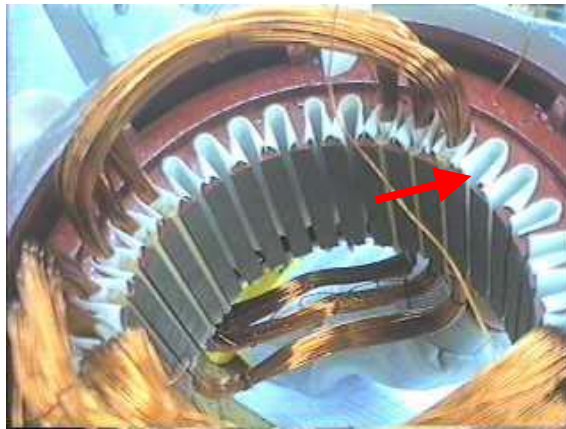


El motor arranca, pero zumba.

- ✓ Falta cuñas a las bobinas.
- ✓ Flojos cinchos del rotor.
- ✓ Flojas barras del rotor.

Falta cuñas a las bobinas. Esta falla se presenta durante los procesos de rebobinado de motores cuando por un descuido por parte del técnico encargado de la Rebobinación pasa por alto ajustar bien las bobinas con las cuñas, dejándolas al descubierto lo cual al paso del tiempo y a la vibración generada por el motor harán que estas pierdan el barnizado y queden en contacto directo con las partes metálicas del motor produciendo un cortocircuito.

Figura 182. Cuñas de bobinas



Fuente: www.emabobinados.com

Barras del rotor flojas. En los motores con rotor de jaula, están las barras en cortocircuito en ambos extremos por medio de dos aros de cobre, si una o varias barras se aflojan y no establecen buen contacto con los aros, el motor

no funciona con normalidad y en algunos casos el rotor no gira; una barra floja puede localizarse por pura inspección.

Figura 183. Barras flojas



Una señal característica de esta avería es el ruido, la falta de potencia y las chispas que se producen entre las barras y los aros frontales de la jaula de ardilla. El remedio consiste en afianzar con soldadura las barras flojas o remacharlas.

El motor arranca con dificultad humeando en seguida.

- ✓ Malas conexiones del devanado.
- ✓ Alguna o algunas cruzadas.
- ✓ Voltaje inadecuado.

Malas conexiones del devanado. Si el motor, al ser energizado, produce el zumbido pero no arranca o lo hace de manera deficiente, el voltaje de alimentación puede estar bajo o, en el caso de un motor para doble voltaje,

estar éste mal conectado, con sus devanados en serie en el voltaje más bajo. Obviamente, sólo en el arranque inicial deben sospecharse conexiones incorrectas.

Figura 184. Malas conexiones del devanado



Alguna o algunas cruzadas. Las conexiones erróneas entre los polos de arrollamiento de trabajo con los polos del arrollamiento de arranque pueden inducir corrientes en las bobinas de los mismos y originar sobrecalentamientos en ellas, con el peligro que lleguen a humear e incluso a quemarse. En tal caso se hace necesario desmontar el motor , reparar detenidamente todas las conexiones estáticas y rehacer las que sean erróneas.

Figura 185. Bobinas cruzadas



Voltaje inadecuado. Tanto el voltaje alto como el voltaje bajo pueden producir sobrecalentamiento del motor, se debe verificar el voltaje de alimentación con el motor operando bajo carga completa. Si es mas del 10 % arriba o abajo del específico, hay un problema de suministro de energía.

Figura 186. Medición de voltajes



2.6.2.5 Problemas durante la operación de motores eléctricos. Entre los problemas más frecuentes que se presentan en los motores durante la operación tenemos:

El motor se calienta.

- ✓ Sobre carga.
- ✓ Ciclaje.
- ✓ Falta de corriente en alguna fase.
- ✓ Chumaceras o baleros en mal estado.

- ✓ Bajo o alto voltaje.
- ✓ Conexiones defectuosas.
- ✓ Falta de aislamiento.
- ✓ Chispas.
- ✓ Cojinetes mal apretados.
- ✓ Bobinas con cortocircuito.
- ✓ Presión excesiva de las escobillas.
- ✓ Alguna o algunas bobinas defectuosas.

Ciclaje. Muchas veces, la duración efectiva de los motores es determinada no sólo por el número total de horas que han trabajado, sino también por el número de arranques que han tenido. Hay dos factores que en forma individual o combinada pueden ocasionar la falla de un motor cuando trabaja por ciclos. El primero es la temperatura sobreelevada, y el segundo los considerables esfuerzos electromagnéticos impuestos durante el periodo de arranque.

Chispas. En aquellos motores en los que se pueden ver las escobillas mientras el motor opera, se debe verificar si estas hacen chispas bajo cargas normales y pesadas del motor. Las chispas ligeras podrían ser tolerables en los motores pequeños, de CD y de CA-CD para trabajo ligero. En los motores de CD. para trabajo continuo no deben observarse chispas bajo condición de carga alguna.

Las chispas abundantes o el arqueamiento pueden quemar, picar y aflojar las barras del colector (conmutador) y producir cortos atreves de la mica que hay entre ellos. El calor podría ser que la soldadura que conecta los alambres de la armadura (inducido) a las barras del colector se derritiera y se esparciera acreedor del motor. El calor también puede dañar el aislamiento, los porta

escobillas y los resortes de las escobillas. Un motor con escobillas que hace chispas debe pararse tan pronto como sea posible. Las escobillas producirán chispas y se arquearán cuando hay algo malo en el contacto de la escobilla con el colector.

Bobinas con cortocircuito. Un cortocircuito en el arrollamiento suele ocasionar una marcha ruidosa y el desprendimiento de humo. Cuando por un motivo cualquiera falta el aislamiento del hilo de los arrollamientos, al entrar varias espiras en contacto directo se forma un cortocircuito en la bobina, que acaba por quemarse, y sucesivamente se va transmitiendo la avería a las bobinas contiguas hasta quedar afectado el grupo completo.

Figura 187. Bobinas con cortocircuito



Fuente: www.emabobinados.com

Cuando se ha quemado un grupo entero de bobinas, no habrá más remedio que rebobinar todo el motor.

Observación. El cortocircuito en una bobina o grupo se puede localizar también con el ensayo de fases equilibradas. Este ensayo se practica con el motor en marcha.

Presión excesiva de las escobillas. Si la tensión del muelle es insuficiente el colector quedará puesto en corto circuito cuando la velocidad del motor es todavía pequeña, y al propio tiempo las escobillas se levantarán prematuramente del colector. Esto dará lugar a un par de arranque bajo, y el motor será incapaz de alcanzar la velocidad necesaria para pasar del estado inicial de arranque (repulsión) al de régimen (inducción). En tal caso será necesario reemplazar el muelle o bien ajustarlo a una tensión superior.

Si por el contrario, la tensión del muelle es excesiva, ni las escobillas se separarán del colector ni quedaran en cortocircuito cuando se alcance la velocidad de conmutación. Por consiguiente el motor funcionará en permanencia como uno de repulsión, produciendo ruido y chispas. La solución consiste en ajustar la tuerca de modo que la tensión del muelle se reduzca al valor adecuado.

El motor trepida fuertemente y se calienta.

Por lo regular estos defectos son mecánicos y obedecen a dos causas:

- ✓ Malas chumaceras o baleros.
- ✓ Descompensación mecánica del rotor.

El motor funciona muy despacio

- ✓ Inducido o colector con un cortocircuito.
- ✓ Cojinetes desgastados.

- ✓ Interrupción en las bobinas del inducido.
- ✓ Escobillas mal caladas.
- ✓ Sobrecargas.
- ✓ Tensión inadecuada.

La velocidad del motor es superior a la nominal.

- ✓ Interrupción en el arrollamiento derivación.
- ✓ Motor serie marchando en vacío.
- ✓ Arrollamiento inductor en contacto a masa o con un cortocircuito.
- ✓ Conexión diferencial en un motor Compoud.

Interrupción en el arrollamiento derivación. Si un motor derivación marcha en vacío y se interrumpe por un motivo cualquiera el circuito inductor, el inducido girará tal que será de temer que las bobinas sean lanzadas fuera de sus ranuras por la acción de la fuerza centrífuga. Se dice entonces que el motor se “embala”. Sabemos que cuanto mayor sea la velocidad con que giren las bobinas o corten las líneas de fuerza, tanto mayor será la tensión generada.

Al estar interrumpido el circuito inductor, la corriente no circulará por sus bobinas y la inducción (número de líneas de fuerza) será prácticamente nula. No obstante siempre se conservará cierta inducción debida al magnetismo remanente. Resulta, pues, que un inducido que gire en un campo magnético de poca intensidad generará muy poca fuerza contraelectromotriz. Además como quiera que este tiene que llegar al mismo valor que la tensión aplicada, el inducido tendrá tendencia a aumentar su velocidad, a fin de llegar a generar la tensión necesaria.

Motor serie marchando en vacío. A un motor serie en marcha no debe quitársele la carga (aparatos o mecanismos accionados), pues se embala. En un motor serie circula la misma corriente por el inducido y por el arrollamiento del inductor. Como quiera que un motor consume en vacío siempre menos que en carga, la intensidad del campo en vacío será débil el inducido tendrá que girar a mucha mas velocidad.

Arrollamiento inductor en contacto a masa o con un cortocircuito. Una bobina inductora con un cortocircuito hará saltar el fusible y producirá un campo débil, insuficiente para hacer girar el inducido. Una bobina completamente quemada se reconoce a simple vista, pero una bobina con un cortocircuito exige una prueba para su localización. Por regla general, un motor que lleva una bobina con un cortocircuito marcha a velocidad superior a la de régimen y produce chispas si no lleva carga.

Puede efectuarse la prueba de tres maneras:

- ✓ Midiendo la resistencia de sus bobinas con un ohnímetro
- ✓ Midiendo su caída de tensión
- ✓ Utilizando un transformador.

Conexión diferencial en un motor compoud. Si un motor con conexión aditiva se conecta por error con conexión diferencial, el motor marchará en vacío a velocidad superior a la que le corresponde. Como los arrollamientos conectados diferencialmente dan campos de polaridades inversas, la intensidad del campo resultante será débil, y un campo débil motiva un incremento de velocidad.

La conexión diferencial se reconoce observando el sentido de rotación del motor conectado primeramente como Compound y luego como serie. Si con ambas conexiones se obtienen rotaciones del mismo sentido, el motor se hallará conectado aditivamente; en caso contrario la conexión será diferencial. Para cambiar la conexión diferencial de un motor en aditiva se invierte la polaridad en el arrollamiento derivación o bien en el serie.

Chispas en el colector

- ✓ Mal contacto de las escobillas.
- ✓ Colector sucio.
- ✓ Interrupción en el circuito del inducido.
- ✓ Polaridad auxiliar incorrecta.
- ✓ Arrollamiento inductor en contacto a masa o con un cortocircuito.
- ✓ Conexión invertida de los terminales del inducido.
- ✓ Terminales de las bobinas conectados a delgas que no corresponden.
- ✓ Escobillas mal caladas.
- ✓ Interrupción en el circuito inductor.
- ✓ Delgas salientes o hundidas.
- ✓ Láminas de mica salientes.
- ✓ Inducido desequilibrado.

Mal contacto de las escobillas. Cuando las escobillas han quedado atascadas o bien están muy gastadas, pueden dejar de ejercer contacto con el colector, en cuyo caso el motor se haya imposibilitado para arrancar. Lo mismo sucede si hay suciedad en el colector o si la presión del muelle de las escobillas es insuficiente. Suponiendo que el motor llegue a arrancar, se producirá una

intensa producción de chispas. Todas estas anomalías quedan fácilmente detectadas por inspección visual, y se subsanan limpiando a fondo el colector, reponiendo las escobillas o los muelles, o bien sustituyendo ambos a la vez.

Polaridad auxiliar incorrecta. La finalidad de los polos auxiliares es eliminar las chispas debido a la inducción, pero esto solo puede conseguirse si la polaridad de dichos polos auxiliares es la correcta. Siendo tantas las causas de las chispas en un motor, a primera vista resulta difícil afirmar que el verdadero motivo sea una falsa polaridad en los polos auxiliares. Para llegar a tal afirmación hay que proceder a una prueba de polaridad, corriendo las escobillas y observando el sentido de rotación, si por motivos constructivos un motor no pudiera ser verificado por el citado procedimiento, no habrá más remedio que recurrir a la prueba con la brújula.

Un motor con polos auxiliares mal conectados absorbe más corriente que la normal y se calienta. Si en tales condiciones se hace funcionar durante un tiempo, el colector puede llegar a calentarse tanto que puede derretir las soldaduras de los terminales y sea proyectado hacia fuera por la fuerza centrífuga. Aun estando los polos auxiliares mal conectados, el motor puede funcionar sin que se produzcan chispas; no obstante el signo característico que no falta nunca es el calentamiento excesivo del colector.

Terminales de las bobinas conectados a delgas que no corresponden. Si los terminales de las bobinas van conectados a delgas algo distanciadas de las que en realidad corresponden, se producirán también chispas en las escobillas. Examinando una bobina que se encuentre en la zona neutra podrá comprobarse si sus terminales quedan en cortocircuito por una escobilla. En caso contrario, se habrá cometido un error en la conexión de los citados terminales a las delgas. La solución consiste en correr las escobillas hasta que

casen las chispas, o, si los portaescobillas son fijos, conectar los terminales a las delgas que correspondan.

Escobillas mal caladas. Las escobillas deben poner en cortocircuito una bobina al encontrarse ésta en la zona neutra. Al aflojarse el tornillo de ajuste de dos portaescobillas pueden desalarse las escobillas, produciéndose entonces abundantes chispas alrededor del colector y experimentando además una pérdida de velocidad. La reparación es bien sencilla: mediante el tornillo de ajuste se vuelven a poner las escobillas en la posición correcta, o sea aquella que no produce chispas en el colector con el motor marchando a plena carga.

La posición correcta de las escobillas en un motor de polos auxiliares puede determinarse girando el inducido a mano asta que una bobina quede enfrentada a un polo auxiliar, las escobillas se girarán hasta que pongan en cortocircuito las dos delgas a las que vaya conectada la bobina de referencia.

En un motor sin polos auxiliares, es ligeramente diferente. Las escobillas deberán correrse, en sentido contrario al del giro del motor, unas cuantas delgas más allá de la posición que deberían ocupar si se tratara de un motor de polos auxiliares, es decir, del punto medio entre dos polos principales.

Láminas de mica salientes. La causa de este defecto es por lo regular un mayor desgaste de las delgas que de las láminas, también puede ser debido a que el colector no se haya apretado bien. Este defecto se caracteriza por una continua producción de chispas alrededor del colector. Se conoce su existencia por el ennegrecimiento del colector y por la aspereza que ofrecen las láminas al tacto. Lo más indicado será en tal caso tornearse el colector y las

láminas de mica que sobresalgan de entre las delgas. Una solución provisional consiste en apoyar una piedra de amolar de grano fino sobre el colector con el motor en marcha.

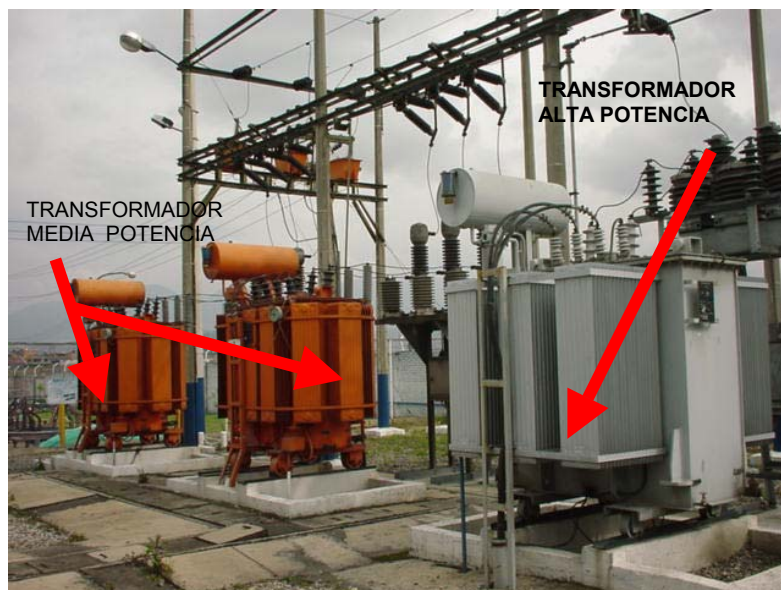
3. TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

En las redes de transmisión y distribución de energía eléctrica, los transformadores de potencia son componentes costosos, vitales y críticos en el sistema eléctrico.

Un transformador es un dispositivo estático, sin partes móviles, destinado a transferir energía eléctrica de un circuito a otro, siendo el enlace común entre ambos circuitos, un flujo magnético común.

En la Figura 188 se muestra una aplicación de los Transformadores eléctricos en una sub-estación eléctrica, en la cual modifican el voltaje de la corriente eléctrica que será distribuida por las redes eléctricas.

Figura 188. Transformadores de una sub-estación eléctrica



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

La característica principal de un transformador es que puede llevar (por

medio de la acción de un campo magnético) **una Corriente Alterna de un voltaje determinado a otro voltaje más elevado o más reducido que sea más ventajoso para la carga y sin modificar su frecuencia.**

El tamaño de un transformador varía desde los pequeños del tamaño de una uña, usados en comunicaciones, hasta gigantescas unidades de potencia de muchas toneladas de peso.

Elementos principales de un transformador: La mayoría de los transformadores se construyen enrollando dos **devanados** (Figuras 194-195) (dos o más bobinas de alambre aisladas eléctricamente entre si por lo general) en un **núcleo** (Figuras 190-193) magnético común (de material ferromagnético). La figura 189 muestra una representación gráfica de los Elementos Principales de un Transformador

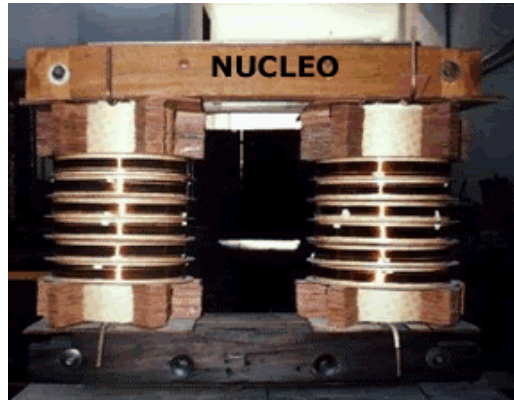
Figura 189. Elementos principales de un transformador



Fuente: CD Datos de Mantenimiento Imelec.

Núcleo: Se le denomina núcleo al circuito magnético compuestos por chapas apiladas de material ferromagnético por el medio del cual ocurre el flujo magnético del transformador.

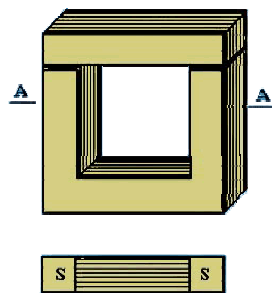
Figura 190. Núcleo de un Transformador



Existen 2 tipos de núcleos fundamentales de estructura del transformador:

Tipo _ núcleo: No es macizo, sino que esta formado por un paquete de chapas superpuestas, y aisladas eléctricamente entre sí. Para colocarlas y poder ubicar el bobinado terminado alrededor del núcleo, se construyen cortadas, colocando alternadamente una sección U con una sección I. La capa siguiente superior cambia la posición I con respecto a la U.

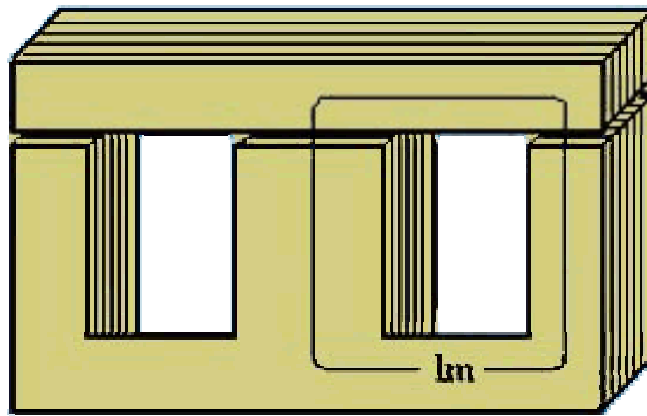
Figura 191. Núcleo de un transformador de estructura tipo núcleo



Tipo _ acorazado: Este tipo de núcleo es más perfecto, pues se reduce la dispersión.

Obsérvese que las líneas de fuerza de la parte central, alrededor de la cual se colocan las bobinas se bifurcan abajo y arriba hacia los 2 costados, de manera que todo el contorno exterior del núcleo puede tener la mitad de la parte central. Esto vale para las 2 ramas laterales como también para las 2 cabezas. Para armar el núcleo acorazado también se lo construye en trozos, unos en forma de E y otros en forma de I, y se colocan alternados, para evitar que las juntas coincidan.

Figura 192. Núcleo de un transformador de estructura tipo acorazado



El hecho que los núcleos sean hechos en dos trozos, hace que aparezcan juntas donde los filos del hierro no coinciden perfectamente, quedando una pequeña luz llamada entrehierro. Obsérvese que en el tipo núcleo hay dos entrehierros en el recorrido de las fuerzas, y que el acorazado también, porque los dos laterales son atravesados por la mitad de líneas cada uno.

El núcleo tiene dos funciones fundamentales:

- ✓ Desde el punto de vista eléctrico es la vía por que discurre el flujo magnético. A través de las partes de la culata, conduce el flujo magnético siguiendo un circuito prescrito, de una columna a otra.
- ✓ Desde el punto de vista mecánico es el soporte de los arrollamientos que en él se apoyan.

Características de las chapas: El material de las chapas utilizadas para la construcción de los núcleos tipo anillo y tipo acorazado son generalmente acero al silicio en proporciones de 2 a 4% de este último. Los espesores de estas láminas varían entre 0,3 y 0,5 mm para frecuencias de 50 ciclos. Entre chapas debe haber aislamiento eléctrico lo que se consigue de diferentes formas:

- ✓ con una capa de barniz aplicado a una de sus caras.
- ✓ con una hoja de papel muy delgada encalado sobre una cara de la chapa.

Produciendo una oxidación superficial con vapor de agua: Según el tipo de aislamiento se tienen diferentes efectos sobre el costo de la chapa y sobre la reducción de la sección neta del hierro. Para chapas de 0,35 a 0,5 mm de espesor, puede estimarse que la reducción de sección neta con aislamiento de barniz o papel es de un 10%.

Los transformadores pequeños: se colocan las chapas una a una, alternando las juntas, para dar más solidez al conjunto y evitar piezas de unión entre partes del núcleo.

Los transformadores grandes: las dos cabezas quedan separadas, y deben sujetarse con pernos roscados.

Los transformadores de gran potencia: Suele ser necesario formar conductos de refrigeración en la masa del núcleo, para aumentar la superficie de disipación del calor se colocan entonces separadores aislantes, de espesor conveniente para la circulación del aceite.

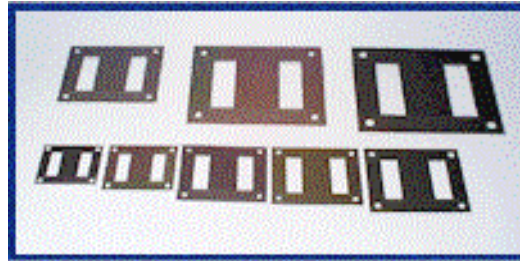
Factor de apilamiento del fe: El factor de apilamiento del Fe se define como el cociente entre el área de la sección recta del hierro y el área de la sección recta de la pila.

Este factor se utiliza cuando la estructura magnética esta constituida por chapas delgadas recortadas en forma adecuada y apretadas entre sí, el volumen de cada una de ellas no es igual al volumen del hierro que realmente conduce el flujo, ya que entre las láminas existen regiones de permeabilidad igual a la del aire, debido a la presencia de irregularidades o grietas en la superficie de las chapas, debido a la delgada capa de barniz aislante aplicado deliberadamente para evitar el contacto entre chapas y reducir las pérdidas por corrientes de Folcalt, o debido a rebabas en los cantos de las chapas, originadas al troquelarla. Esta región conduce muy poco flujo debido a lo relativamente bajo de su permeabilidad; así, para tener en cuenta su efecto disminuyendo el volumen total de hierro, se acostumbra a expresar el área eficaz de la sección recta como igual al producto del área de la sección recta de la pila de chapas por el factor de apilamiento.

El factor de apilamiento se halla comprendido entre 0,95 - 0,9 para espesores de láminas comprendidos 0,63 - 0,35 mm.

El aislamiento entre chapas se consigue con barnices especiales, con papel de seda, o simplemente oxidando las chapas con un chorro de vapor.

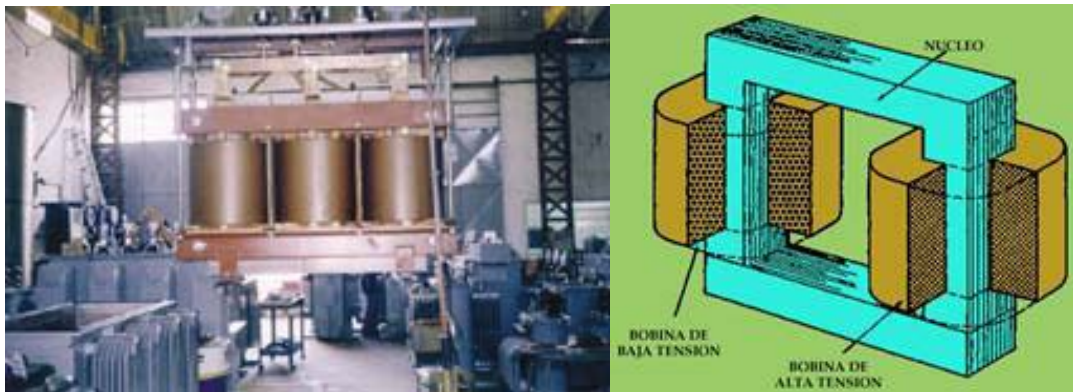
Figura 193. Chapas con un chorro de vapor.



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

Devanados: Hay dos formas típicas de devanados (también llamados arrollamientos o bobinados) para transformadores: los cilíndricos y planos. Los núcleos, con su forma, son los que determinan la elección de uno u otro tipo, salvo que se requieran propiedades especiales, como ser baja capacidad distribuida, para uso en telecomunicaciones u otros.

Figura 194. Devanados de un transformador eléctrico



Bobinado cilíndrico: este tipo se usa cuando el núcleo del transformador es del tipo núcleo.

Bobinado plano: este tipo se usa cuando el núcleo del transformador es del tipo acorazado.

Disposición de devanados: Los dos bobinados rara vez se apartan en dos simples grupos de espiras, encimándolas; generalmente se apartan en dos partes o más envueltas uno encima del otro, con el embobinado de baja tensión en la parte interna. Este embobinado sirve para los siguientes propósitos:

- A: Simplifica el problema de aislar el embobinado de alto voltaje del núcleo.
- B: Causa mucho menos filtración de flujo, como sería el caso si los 2 embobinados estuvieran separados por alguna distancia del núcleo.
- C: Mejora la refrigeración.

Material de devanados: Los materiales aislantes para el bobinado, o para colocar entre capas, son: papel barnizado, fibra, cinta impregnada, algodón impregnado, etc., para transformadores con bobinados al aire, y para los sumergidos en baños de aceite, se utilizan los mismos materiales sin impregnarse; debe evitarse el uso del caucho en los transformadores en baño de aceite, pues este lo ataca, y tiene efectos nocivos también sobre la y aun sobre los barnices.

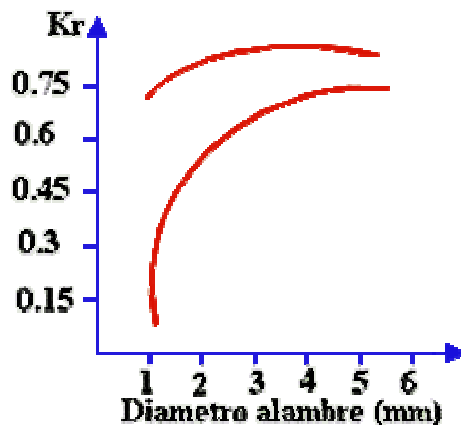
Las piezas separadoras entre bobinados, secciones, o entre estas y el núcleo pueden ser de madera, previamente cocida en aceite, aunque actualmente se prefieren los materiales duros a base de papel o similares (pertinax, etc.). Si se usa madera, no debe interpretarse como que se dispone de aislamiento, sino solamente de un separador.

En cuanto a los conductores para hacer bobinas, su tipo depende de la sección, pues hasta 6mm^2 pueden usarse alambre y más arriba de ese límite se usan cables de muchos hilos, o bien cintas planas, para facilitar el bobinado. El aislamiento para los conductores puede ser algodón, que luego se impregnará

si no se emplea baño de aceite. Para transformadores de soldadura que trabajan con tensiones muy bajas y corrientes muy fuertes, se suelen colocar las cintas de cobre sin aislamiento, pues la resistencia de contacto entre ellas es suficiente para evitar drenajes de corriente. Esta situación mejora aún debido a la oxidación superficial del cobre.

Factor de relleno del cobre: El factor de relleno del cobre (K_r) se refiere al cociente entre la sección neta del cobre y la sección que ocupa el mismo alambre con aislamiento incluida.

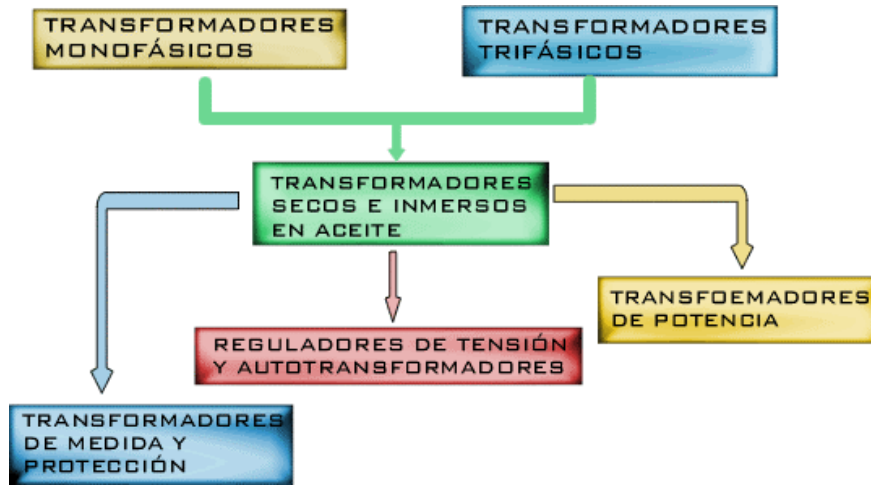
Figura 195. Factor de relleno del cobre



3.1 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS TRANSFORMADORES

Los transformadores se dividen según su disposición eléctrica en trifásicos y monofásicos y a su vez tanto transformadores trifásicos como monofásicos se pueden subdividir según el tipo de aislamiento en:

Figura 196. Clasificación general de los transformadores



3.1.1 Transformadores de Potencia: Se utilizan para subtransmisión y transmisión de energía eléctrica en alta y media tensión, así como en los grandes complejos industriales y centros de generación. En la Figura 197 se muestra la aplicación de un transformador trifásico de potencia. Las grandes fábricas de transformadores, los diseñan, construyen y prueban de acuerdo con las especificaciones del cliente.

Figura 197. Transformador trifásico de potencia



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

Los bobinados son fabricados bajo estrictos controles y normalmente se arrollan en cobre (Cu) electrolítico esmaltado para los bobinados de alta tensión y planchuela forrada en vidrio para los bobinados de baja tensión.

El núcleo normalmente de chapa de acero al silicio es del tipo arrollado/cortado; es apto para su reparación de manera muy sencilla y rápida.

Algunos transformadores de potencia: A continuación presentamos Algunos Transformadores de Potencia (Figuras 198-200)

Se construyen en potencias normalizadas desde 1.25 hasta 20 MVA, en tensiones de 13.2, 33, 66 y 132 kV. y frecuencias de 50 y 60 Hz.

Figura 198. Transformador de Potencia



Fuente: <http://www.dynex.com/line-elec.htm>

Transformadores de potencia en baño de aceite y refrigerados por circulación natural del aire, fabricados de acuerdo a normas IEC, para media y alta tensión hasta 40 MVA y 138 KV.

Figura 199. Transformador de Potencia en baño de aceite y refrigerados por circulación natural del aire.



Fuente: <http://www.dynex.com/transf.htm>

Figura 200. Transformador de Potencia en baño de aceite y refrigerados por circulación forzada del aire



Fuente: <http://transformerservices.com>

3.1.2 Reguladores de tensión y autotransformadores: Se usan para controlar

la regulación de tensión en los circuitos de distribución, a la vez que funcionan como transformadores de potencia.

Las características comunes a la mayoría de estos transformadores son:

Tabla 7. Características comunes a la mayoría de estos transformadores.

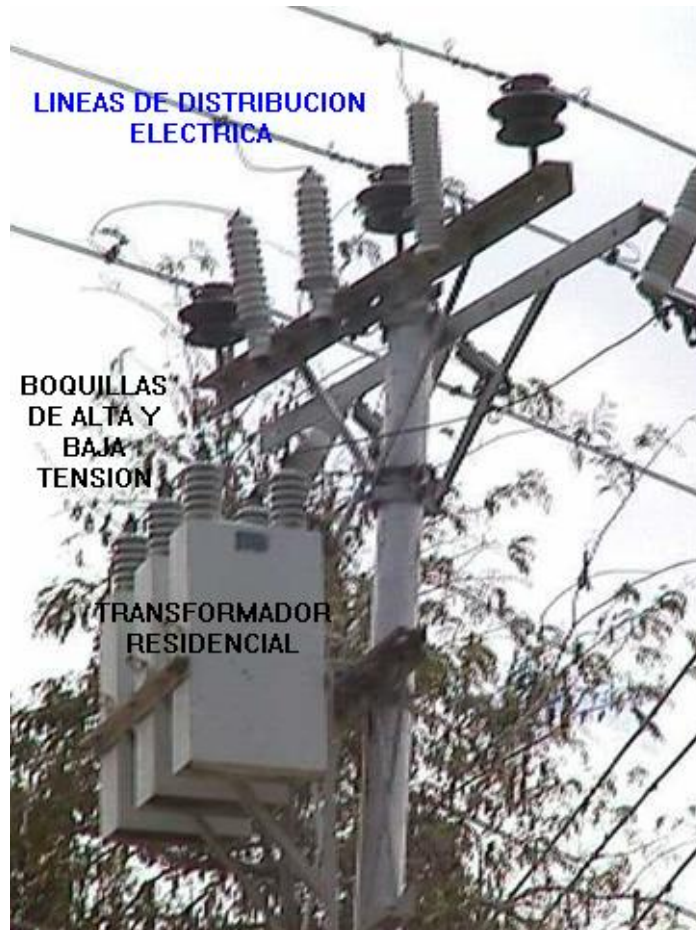
Se emplean para pasar de altas tensiones trifásicas a bajas tensiones para distribución de energía, principalmente en áreas metropolitanas y para aplicaciones industriales.
Los transformadores tipo estándar de distribución son trifásicos y pueden ser instalados en interiores o exteriores.
Los transformadores de distribución están sellados herméticamente (la cuba está completamente llena de aceite) o equipados con conservador de aceite.
Las paredes de la cuba tienen una ondulación flexible que facilita la refrigeración del transformador y compensa los cambios en el volumen del aceite mientras está en funcionamiento. Una ventaja del sellado hermético es que el aceite no entra nunca en contacto con la atmósfera evitándose los análisis periódicos del aceite.

3.1.2.1 Transformador de distribución: Los transformadores de distribución, generalmente son transformadores de potencias iguales o inferiores a 500 kVA y de tensiones iguales o inferiores a 67 000 V, tanto monofásicos como trifásicos.

Aunque la mayoría de tales unidades están proyectadas para montaje sobre postes, como los que se muestran en la figura 201, algunos de los tamaños de potencia superiores, por encima de las clases de 18 kV, se construyen para montaje en estaciones o en plataformas. Las aplicaciones típicas son para

alimentar granjas, residencias, edificios o almacenes públicos, talleres y centros comerciales.

Figura 201. Transformador de distribución en zona urbana



Fuente: <http://www.dynex.com/line-elec.htm>

Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Información de transformadores de distribución: Se fabrican en potencias normalizadas desde 25 hasta 1000 kVA y tensiones primarias de 13.2, 15, 25,

33 y 35 kV. Se construyen en otras tensiones primarias según especificaciones particulares del cliente. Se proveen en frecuencias de 50-60 Hz. La variación de tensión, se realiza mediante un conmutador exterior de accionamiento sin carga.

Figura 202. Transformador de distribución común



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

Transformadores de distribución herméticos de llenado integral: Se utilizan en intemperie o interior para distribución de energía eléctrica en media tensión, siendo muy útiles en lugares donde los espacios son reducidos. Son de aplicación en zonas urbanas, industrias, minería, explotaciones petroleras, grandes centros comerciales y toda actividad que requiera la utilización intensiva de energía eléctrica.

Figura 203. Transformador de distribución hermético



Fuente: <http://www.setransformerservices.com/quality.html>

Transformador de distribución monofásico tipo aéreo: Los transformadores tipo aéreo están pensados para ser instalados preferentemente en postes. Se utilizan en zonas urbanas o rurales, donde su economía lo hace adecuado, en la distribución de energía eléctrica para consumos pequeños preferentemente de uso residencial, alumbrado público o pequeños talleres. El rango normal de fabricación es de 3 a 25 KVA y en tensiones hasta 34,5 kV.

Figura 204. Transformador de distribución monofásico tipo aéreo



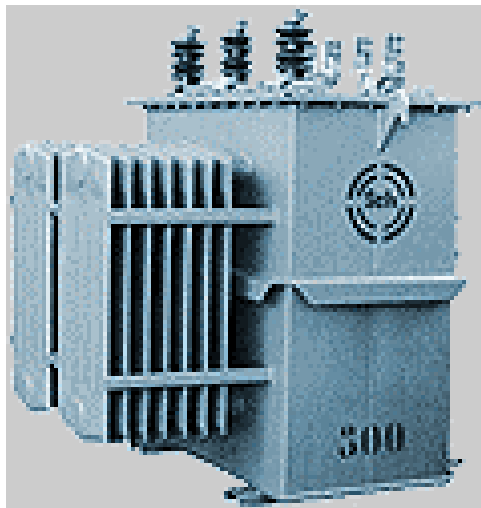
Fuente: <http://transformerservices.com>

El transformador monofásico de "distribución aérea económico" (DAE) incorpora adicionalmente fusibles montados externamente en los aisladores

de alta tensión, para protección contra cortocircuitos. Además, estos fusibles pueden utilizarse para efectuar la conexión o desconexión del transformador. Estos transformadores emplean aisladores de resina epóxica, de gran resistencia a los impactos, característica que los protege contra acciones vandálicas.

Transformador de distribución trifásico tipo aéreo: Los transformadores tipo aéreo están pensados para ser instalados preferentemente en postes. Normalmente utilizan aceite mineral como aislante, pero opcionalmente por razones de seguridad pueden suministrarse con aceite incombustible de silicona.

Figura 205. Transformador de distribución trifásico tipo aéreo



Fuente: <http://transformerservices.com>

Este transformador es el más ampliamente utilizado por las diferentes compañías distribuidoras de energía eléctrica. Su rango de fabricación es de 10 a 500 KVA y hasta 34,5 kV.

3.1.2.2 Autotransformadores: Son transformadores con una conexión

especial, pueden ser una alternativa económicamente conveniente cuando la relación entre los voltajes de entrada y salida es baja (tres o menos), entre otras de sus aplicaciones están los transformadores eléctricos de laboratorio como el que se muestra en la figura 206.

Tabla 8. Aplicaciones de autotransformadores

Una de las aplicaciones de los Autotransformadores, es la que consiste en emplearlos para limitar la corriente de partida de los motores mediante la reducción de la tensión durante el arranque.
Se usan normalmente para conectar dos sistemas de transmisión de tensiones diferentes, frecuentemente con un devanado terciario en triángulo.
Son adecuados como transformadores elevadores de centrales eléctricas, cuando se desea alimentar dos sistemas de transporte diferentes.
Presentan menores pérdidas que el transformador normal Su tamaño es menor que los transformadores normales y su peso permite el transporte de potencias superiores.

Figura 206. Autotransformador típico de laboratorio



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

3.1.3 Transformadores de medida y/o protección: Se utilizan para facilitar la conexión adecuada de instrumentos de medida y/o de protección. Además permiten el uso de tensiones y corrientes normalizadas las cuales son 120 V y 5 A.

3.1.3.1 Transformadores de medida: El transformador de medida se define como un transformador especial destinado a reducir las magnitudes de voltaje o de corriente existentes en una línea de transmisión o de alimentación de energía de alta tensión a valores apropiados para ser medidos o sentidos por medidores de energía, relés o circuitos de control.

Los transformadores de medida se encuentran encapsulados en resina epoxi o inmersos en aceite.

Transformadores de corriente TT/CC: Se utilizan para tomar muestras de corriente de la línea y reducirla a un nivel seguro y medible. En la figura 207 se muestran los elementos de un transformador de corriente, en la figura 208, se muestra uno encapsulado en resina epoxi y en la figura 209 se muestra uno inmerso en aceite.

Figura 207. Transformadores de corriente



Fuente: <http://transformerservices.com>

Tabla 9. Características de los transformadores de corriente

Ciertos tipos de transformadores de corriente protegen a los instrumentos al ocurrir cortocircuitos.
Carga nominal: Normalmente 2.5 a 200 VA, dependiendo de su función.
Se definen relaciones de corriente primaria a corriente secundaria.
Unas relaciones típicas de un transformador de corriente podrían ser: 600/5, 800/5, 1000/5.
transformación de los transformadores de corriente.

Para uso protegido en cubículos metálicos, con uno o más transformadores secundarios, de medición y/o protección, bajo nivel de descargas parciales, relaciones y cargas normalizadas.

Figura 208. Transformadores de corriente encapsulado en resina epoxi



Fuente: <http://transformerservices.com>

Para uso a la intemperie, Construcción robusta, relaciones y cargas normalizadas opcionales para ambientes con alto nivel de polución atmosférica o altas altitudes, con uno o varios secundarios.

Figura 209. Transformador de Corriente en aceite



Fuente: <http://transformerservices.com>

Transformadores de potencial T/P: Es un transformador devanado especialmente, con un primario de alto voltaje y un secundario de baja tensión. En la figura 210 se presenta un Transformadores de potencial inmerso en aceite y en la figura 211 se muestra uno encapsulado en resina epoxi, ambos con una potencia nominal muy baja, como normalmente se encuentran.

Figura 210. Transformador de potencial



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

Tabla 10. Características de los transformadores de potencial

Su único objetivo es suministrar una muestra de voltaje del sistema de potencia, para que se mida con instrumentos incorporados.

Se pueden conseguir transformadores de potencial de varios niveles de precisión, dependiendo de que tan precisas deban ser sus lecturas, para cada aplicación especial.

Figura 211. Transformadores de potencial encapsulado en resina epoxi



Fuente: <http://transformerservices.com>

Para uso protegido, para uso en cubículos metálicos y cabinas primarias, poseen bajo nivel de descargas parciales, alta confiabilidad, relaciones y cargas normalizadas.

Figura 212. Transformadores de potencial en aceite aislante



Fuente: <http://transformerservices.com>

Para uso a la intemperie, de construcción robusta, clase de tensión hasta 72 kV relaciones y cargas normalizadas o especiales, opcional para ambientes con alto nivel de polución atmosférica o altas altitudes (hasta 4.500 M sobre el nivel del mar).

Equipo compacto de medida: El equipo compacto de medida reúne en un solo estanque de reducido volumen como los que se muestran en las Figuras

213 y 214, los transformadores de corriente y potencial necesarios para efectuar la medición de energía en el lado de alta tensión de una subestación transformadora, permitiendo así acogerse a tarifas eléctricas más económicas.

Figura 213. Transformador conjunto de medición normalizado hasta clase 38kV



Fuente: <http://transformerservices.com>

Figura 214. Equipo compacto de medida 2 elementos



Fuente: <http://transformerservices.com>

Compacto para 2 o 3 elementos, 2 Transformadores de Potencial + 2 Transformadores de Corriente o 3 Transformadores de Corriente, montado en poste o plataforma.

Transformadores auto protegidos: Son transformadores que incorporan componentes para protección del sistema de distribución contra sobrecargas,

corto-circuitos en la red secundaria y fallas internas en el transformador, para esto poseen fusibles de alta tensión y disyuntor de baja tensión, montados internamente en el tanque, fusibles de alta tensión y disyuntor de baja tensión.

En la Figura 215 se muestra un transformador de protección, que contiene los elementos anteriormente descritos, en la parte exterior se pueden observar los aisladores del transformador, los fusibles de protección se encuentran internamente en el tanque;

Figura 215. Transformador de Protección



Fuente: CD Imágenes de Mantenimiento Ecopetrol.

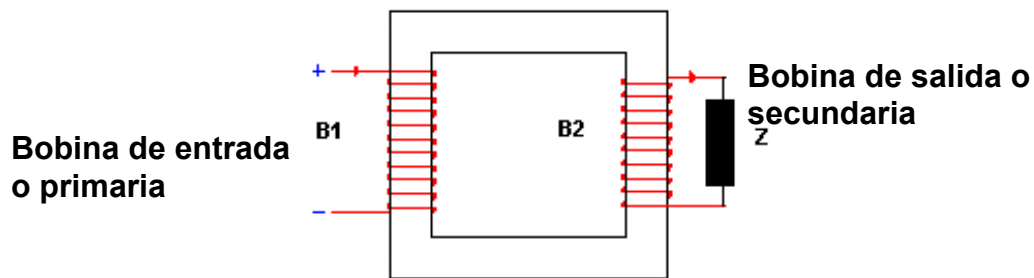
Para protección contra sobretensiones (descargas atmosféricas por ejemplo), el transformador está provisto de un dispositivo para fijación de pararrayos externos en el tanque.

3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Transformador Ideal: Un transformador ideal es un artefacto sin pérdidas, con una bobina de entrada y una bobina de salida.

La Figura 216 muestra el esquema de un transformador ideal con sus elementos principales.

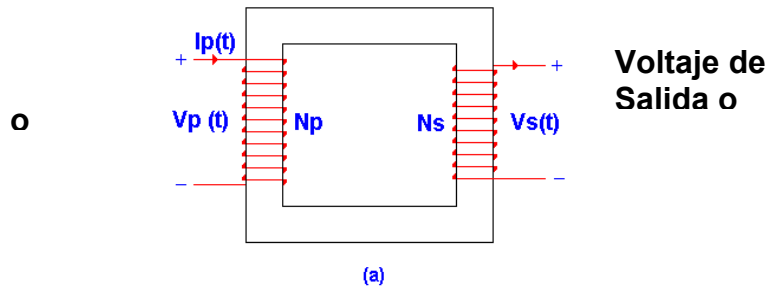
Figura 216. Transformador ideal



En su forma más simple, un transformador está constituido por un circuito magnético, formado por chapas apiladas de material ferromagnético (Núcleo), sobre el que se arrollan dos bobinas B1 y B2 (Devanados). Si conectamos la bobina B1 a los terminales de un generador de corriente alterna G y cerramos el circuito de la bobina B2 mediante una impedancia Z, la bobina B1 actúa como una inductancia que, al ser atravesada por la corriente procedente del generador G produce un flujo alterno que circula por el circuito magnético, induciendo una fuerza electromotriz en la bobina B1; como consecuencia, por el circuito eléctrico constituido por B2 y Z, pasa una **Corriente Alterna (C.A.)**.

El transformador que se muestra en la Figura 217 tiene N_p espiras de alambre sobre su lado primario (donde actúa la bobina generadora del flujo magnético), N_s espiras de alambre en su lado secundario.

Figura 217. Voltajes de un transformador ideal



$I_p(t)$ es la corriente que fluye en el lado primario y la corriente que fluye hacia fuera del lado secundario del transformador es $I_s(t)$.

Por la relación de flujos magnéticos entre las bobinas primaria y secundaria, El voltaje en las bobinas de un transformador IDEAL es directamente proporcional al número de vueltas (o espiras) de cada una de ellas.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (27)$$

V_p : Voltaje en la bobina del primario en V.

V_s : Voltaje en la bobina del secundario en V.

N_p : Número de vueltas en la bobina del primario.

N_s : Número de vueltas en la bobina del secundario.

V_p/V_s : Relación de voltaje (RV).

N_p/N_s : Relación de vueltas (RN).

Por tanto:

$$RV = RN \quad (28)$$

La corriente en las bobinas de un transformador IDEAL es inversamente proporcional al voltaje en cada una de ellas.

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (29)$$

I_p : corriente de la bobina del primario en A

I_s : corriente de la bobina del secundario en A

Sustituyendo en $\frac{V_p}{V_s}$ por $\frac{N_p}{N_s}$ obtenemos:

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (30)$$

En las redes eléctricas resulta más económico transportar una determinada potencia de corriente eléctrica a tensiones elevadas que a tensiones pequeñas; puesto que para una potencia dada, al aumentar el voltaje, se reduce la corriente y al reducirse la corriente se requerirá cable conductor de menor diámetro, que tendrá menor costo que el necesario para tensiones pequeñas. Esta es una ventaja importante (Puesto que reduce pérdidas que se originan durante el transporte de la energía, mediante el uso de tensiones elevadas) que ha conducido al uso universal de la Corriente Alterna (C.A.) en los sistemas de potencia.

POTENCIA DEL TRANSFORMADOR IDEAL

La potencia suministrada al transformador por el circuito primario se expresa por medio de la ecuación

$$P_{ent} = V_p * I_p * \cos \theta_p \quad (5)$$

Donde:

P_{ent}: Es la Potencia de entrada (suministrada al transformador en la bobina primaria)

Cos θ_p : Es el factor de potencia de la bobina primaria

La potencia que el circuito secundario suministra a sus cargas se establece por la ecuación:

$$P_{sal} = V_s * I_s * \cos \theta_s \quad (6)$$

Donde:

P_{sal} : Es la Potencia de salida (suministrada por el transformador desde la bobina secundaria)

Puesto que los ángulos entre el voltaje y la corriente no se afectan en un transformador ideal, $\theta_p = \theta_s = \theta$ las bobinas primaria y secundaria de un transformador ideal tienen el mismo factor de potencia.

Además la potencia reactiva Q será:

$$Q_{ent} = V_s * I_p * \sin \theta \quad (7)$$

$$Q_{sal} = V_s * I_s * \sin \theta \quad (8)$$

Donde:

Q_{ent} : Es la Potencia reactiva de entrada

Q_{sal} : Es la Potencia reactiva de salida

Y la potencia aparente S

$$S_{ent} = V_p * I_s \quad (9)$$

$$S_{sal} = V_s * I_s \quad (10)$$

S_{ent} : Es la Potencia aparente de entrada

S_{sal} : Es la Potencia aparente de salida

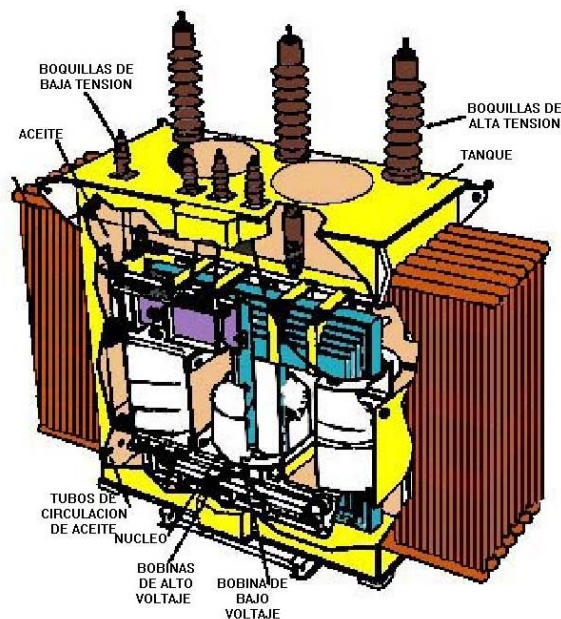
3.3 PARTES DE UN TRANSFORMADOR ELÉCTRICO

Aunque los elementos principales de un transformador son el núcleo y los devanados, para desarrollar correctamente su función, requieren de otros elementos que garanticen su permanencia y buen desempeño.

Para prevenir el rápido deterioro de los materiales aislantes dentro de un transformador, se deben proveer los medios de enfriamiento adecuados, tanto para el núcleo como para los devanados.

En la Figura 218 se muestran las partes que intervienen en el funcionamiento normal de un transformador eléctrico

Figura 218. Partes de un transformador eléctrico



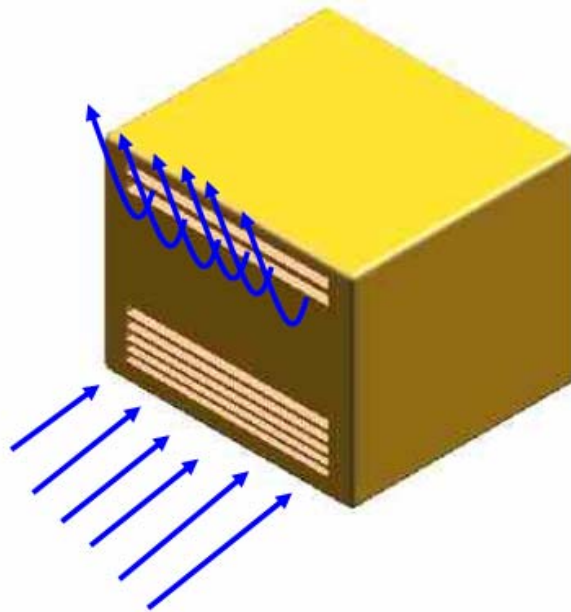
A continuación trataremos algunas de las partes de un transformador eléctrico:

1. **Cuba:** Los transformadores con potencias inferiores a 50 kVA, se pueden enfriar por medio del flujo de aire circundante a los mismos. Para ello se construye una caja metálica que los contiene, esta se puede habilitar con

rejillas de ventilación, de manera que las corrientes de aire puedan circular por convección sobre los devanados y alrededor del núcleo como se muestra en la Figura 219.

Por convección el aire frío entra por la parte inferior y sale por las rejillas superiores.

Figura 219. Tipo AA enfriamiento por aire

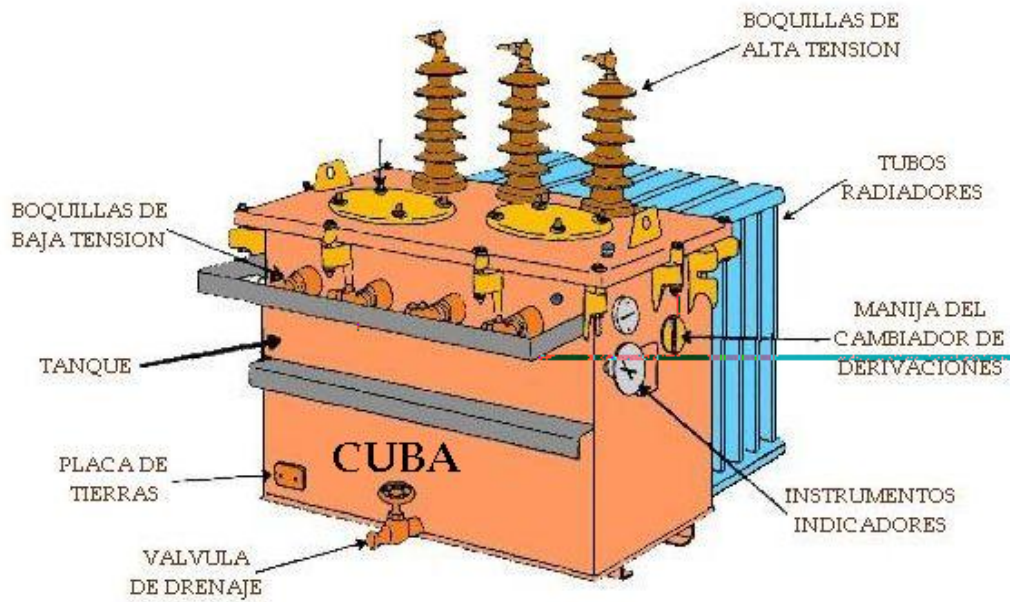


Los transformadores un poco mayores se pueden construir de la misma manera, pero se puede usar la circulación forzada de aire limpio. Estos transformadores, llamados tipo seco, se usan por lo general en el interior de edificios, retirados de las atmósferas hostiles.

Los transformadores del tipo distribución, menores de 200 kVA, están usualmente inmersos en aceite mineral y encerrados en tanques llamados **Cubas**, estas son construidas en chapa de acero y aptas para soportar una sobrepresión interna determinada para cada aplicación. En la Figura 220 se

puede observar la cuba de un transformador eléctrico. El aceite transmite el calor del transformador hacia el tanque, donde es disipado por radiación y convección hacia el aire exterior del transformador. Debido a que el aceite es mejor aislante que el aire, se usa invariablemente en los transformadores de alta tensión.

Figura 220. Transformador trifásico



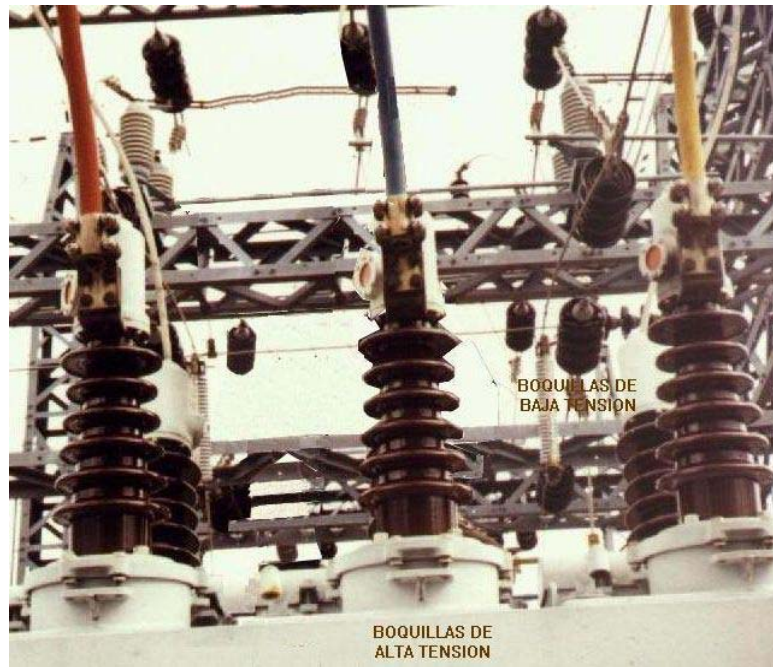
2. **Tapas:** Son construidas en chapa de acero y están diseñadas de forma tal, que permiten el desencubado del transformador, izando la parte activa que se halla unida solidariamente a la misma.

Con el fin de asegurar la hermeticidad en algunos casos, la tapa se une a la cuba mediante soldadura.

3. **Tomas para variación de tensión:** Algunos transformadores están provistos de un dispositivo que permite variar la relación de transformación estando el transformador sin tensión.

Podemos encontrar transformadores con dos valores diferentes de tensión primaria, pudiendo funcionar por cambio de las conexiones en el arrollamiento de alta tensión como podemos ver en la Figura 221.

Figura 221. Boquillas de alta y baja tensión



Fuente: CD Datos de Mantenimiento Imelec.

Los Transformadores carecen de partes móviles (a excepción, quizá, de los interruptores de cambio de salidas o los ventiladores de enfriamiento y las bombas en los grandes transformadores de potencia).

4. Conexiones: Son terminales de conexiones de tablilla con tornillos de latón o solera de cobre según su capacidad; colocadas sobre tablillas de colorón o epoxy dispuestas en la parte superior o lateral del transformador. En la Figura 222 podemos ver una caja de conexiones que se requiere para el control de un transformador eléctrico.

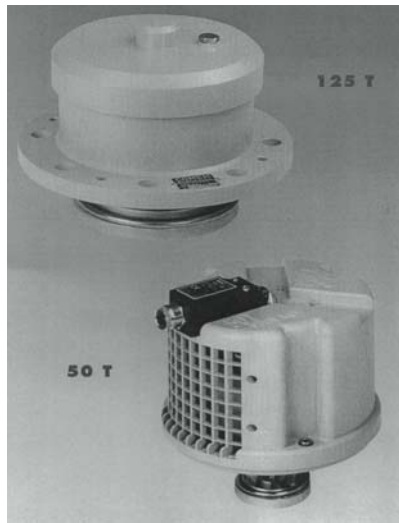
Figura 222. Caja de conexiones de un transformador eléctrico.



Fuente: <http://transformerservices.com>

5. **Válvula de sobrepresión:** Se emplean las válvulas del tipo T para controlar la presión al interior de los tanques de transformadores eléctricos. En la figura 223 podemos apreciar una válvula tipo T. Tienen la característica específica de poder descargar hacia el exterior, dentro de unos lapsos de tiempo sumamente reducidos (unos milésimos de segundo) el aumento de presión que haya ocurrido. Se emplean a menudo dichas válvulas en las cajas metálicas de los transformadores eléctricos enfriados con aceite.

Figura 223. Válvula de sobrepresión



Fuente: Manual de Mantenimiento de transformadores Electrificadora de Santander.

Están protegidas de la posible corrosión causada por el ambiente exterior y de la eventual interposición de cuerpos extraños entre la tapa y la protección. De esta forma queda garantizada su funcionalidad perfecta aún después de unos largos plazos de tiempo.

6. Relé buchholz: Este relé está hecho para proteger al transformador inmerso en aceite contra fallas internas. Está fijado al tubo de conexión entre el tanque del transformador y el conservador. En la figura 224 se observa un transformador de potencia con relé buchholz.

Su estructura presenta dos flotadores; uno en la parte superior y otro en la parte inferior de una caja de acero (cámara de aceite) y están fijados de tal manera que cada flotador puede girar, siendo su centro de rotación el eje de soporte.

7. Relé de protección del cambiador de tomas bajo carga: Este relé protege al transformador y al cambiador de tomas bajo carga contra averías. Debe estar conectado de tal forma que su funcionamiento provoque la

desconexión inmediata del transformador. En la Figura 225 podemos ver la adecuación de los Relé de protección del Cambiador de tomas bajo carga.

El órgano activo del relé comprende una palanca provista de un orificio y un imán permanente, el cual asegura el funcionamiento del contacto auxiliar y el mantenimiento de la palanca en posición REARME. No es posible obtener una posición intermedia.

Figura 224. Relé de protección del cambiador de tomas bajo carga



Fuente: CDImágenes de Mantenimiento Ecopetrol.

8. Indicadores de temperatura y nivel: Instrumentos que miden la temperatura y el nivel de aceite dentro del transformador; normalmente se ubican en la parte lateral del transformador.

En la figura 225 se puede observar un transformador de potencia con las partes anteriormente descritas.

Figura 225. Transformador de Potencia con sus partes principales



Fuente: CD Imágenes de Mantenimiento Ecopetrol.

9. **Sistema de refrigeración:** Algunos transformadores son enfriados por aire y otros son enfriados por agua. Tal como se muestra en la figura 226.

Figura 226. Transformador trifásico con sistema de refrigeración de enfriamiento con agua.



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

10. Placa de datos: Al transformador se le fija en una parte visible una placa de datos grabada normalmente en papel plastificado para servicio interior y de aluminio grabada para servicio intemperie, con una identificación clara de terminales, devanados y voltajes que permita una conexión segura.

11. Respiradores de sílica gel: Estos dispositivos están hechos para eliminar la humedad y el polvo que entran al transformador.

Está formado por un depósito con un agente deshidratante y aceite. El empaque debe verificarse para ver si está bien asegurado, de manera que no permita la entrada de aire al transformador por ningún sitio que no sea el orificio del respiradero.

Si el agente deshidratante de los respiradores de sílica gel se humedece con aceite, es porque hay demasiado aceite en el depósito, o porque hay alguna falla interna cuya causa debe detectarse. Se usa gelatina de silicio como agente deshidratante.

Generalmente está teñido de azul con cloruro de cobalto, y cuando la absorción de humedad llega a un 30 ó 40 %, el color cambia de azul a rosa; en caso se debe cambiar la gelatina de silicio o secarla para volver a usarla.

12. Sistemas de aislamiento: Los transformadores cambian el voltaje de la corriente alterna sin modificar su frecuencia y aunque son altamente eficientes, este cambio de voltaje viene acompañado de una ligera pérdida de energía en forma de calor; de esta manera se necesita de un medio para **ENFRIAR** la unidad transfiriendo el calor generado en las bobinas y el núcleo hacia las paredes del tanque y los radiadores.

También se requiere que los devanados eléctricos del transformador se encuentren aislados para evitar cortocircuitos entre ellos.

Por esta razón se requiere de un medio fluido para **ENFRIAR** la unidad y **AISLAR** los devanados eléctricos y que logre extinguir los arcos eléctricos.

3.4 AISLAMIENTOS EN TRANSFORMADORES

Los transformadores dependen del comportamiento de sus aislamientos para las condiciones normales de operación. Por esta razón, las asociaciones de fabricantes de equipo eléctrico y las normas nacionales e internacionales han designado básicamente cuatro tipos de aislamientos con especificaciones y límites de temperatura. Esta clasificación es la siguiente:

Aislamiento clase A: Diseñado para operar a no más de 100°C de elevación de temperatura, que es el próximo al punto de ebullición del agua, pero en el caso de los transformadores tipo seco, previene accidentes con materiales combustibles en el área con el transformador.

Aislamiento clase B: La elevación de temperatura puede no exceder los 80°C en las bobinas, con temperatura máxima 130°C, aislamientos tipo mylar; por lo general estos transformadores son más pequeños que los que usan aislamientos clase A.

Aislamiento clase F: Esta clasificación se relaciona con elevaciones de temperatura en las bobinas de hasta 115°C.

Aislamiento clase H: Esta clase de materiales aislantes permiten diseñar para elevaciones de temperatura de 150°C cuando está operando el transformador a una temperatura ambiente de 40°C, para que alcance hasta 190°C y con el punto más caliente no exceda a 220°C. Los materiales aislantes de clase H consisten de materiales o combinaciones de materiales, tales como: mica, fibra de vidrio, asbestos, elastómeros y silicones o resinas a base de éstos. En la actualidad, la mayoría de los transformadores tipo seco usan aislamientos tipo H. Las normas americanas ANSÍ y NEMA establecen que un aislamiento tipo H puede operar con incrementos de 150°C sobre la temperatura ambiente hasta por 20.000 horas.

En un gran número de transformadores se acostumbra a utilizar entre devanados y entre capas aislamientos de "mylar" clase 150° y "nomex" clase 220° de acuerdo a su clase de aislamiento; estos materiales no absorben humedad, no propagan las flamas y garantizan permanentemente una resistencia de aislamiento entre devanados y al núcleo mayor a los 2000 megohmios.

3.4.1 Transformadores con aislamiento de aceite. El bajo costo, la elevada rigidez dieléctrica y la posibilidad de recuperación aún después de estar sometidos a sollicitaciones dieléctricas excesivas, hacen del aceite mineral el material aislante más ampliamente usado en transformadores eléctricos.

Aceite aislante y refrigerante para transformadores: Para proporcionar un medio fluido para **ENFRIAR** la unidad y **AISLAR** los devanados eléctricos y que logre extinguir los arcos eléctricos se utiliza el **ACEITE AISLANTE Y REFRIGERANTE**.

Este aceite debe tener una **excelente fluidez** incluso a bajas temperaturas y debe ser esencialmente **no conductor**; para cumplir de una mejor manera con estas condiciones se establecen unidades productoras de aceite como la que se muestra en la figura 227.

Figura 227. Unidad productora de aceite aislante y refrigerante



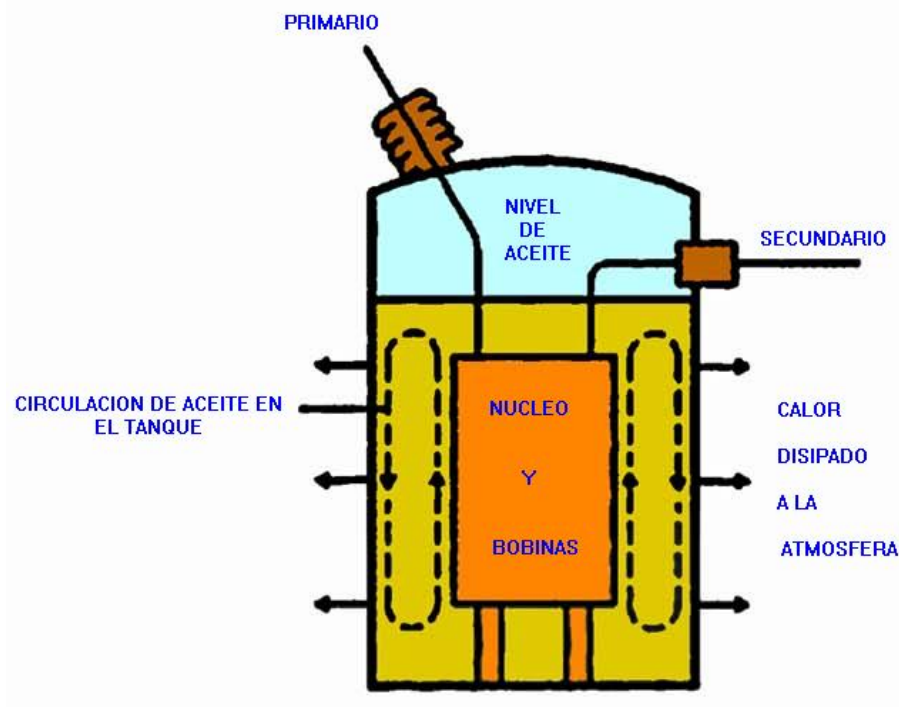
Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

El aceite transmite información sobre las superficies lubricadas, arrastrando las partículas de desgaste de la zona de contacto, proporcionando una

valiosísima información sobre las partes internas de motores, sistema hidráulico, mando final, etc. y en general de cualquier elemento lubricado.

El enfriamiento del núcleo y las bobinas por circulación de aceite se lleva a cabo como se muestra en el esquema de la figura 228.

Figura 228. Enfriamiento del núcleo y bobinas por circulación de aceite



3.4.2 Aislamiento Sólido. El aislamiento sólido de gran espesor se usa en los terminales de alta tensión en zonas de concentración de esfuerzos dieléctricos.

Los materiales sólidos usados frecuentemente, incluyen el papel impregnado con aceite, el papel impregnado con resinas, el cartón prensado, el algodón, la madera tratada con aceite al vacío y los esmaltes.

La vida útil de un transformador eléctrico esta directamente relacionada, a la vida del aislante sólido, o sea del papel aislante. Una vez deteriorado el papel, el reparo podrá costar casi lo mismo que un equipo nuevo.

El aislante sólido de los transformadores de potencia consiste básicamente en el papel en la forma de las hojas, y de las cintas.

La geometría de los bobinados del transformador se mantiene con ayuda del encintado de los conductores de cobre. Este encintado se realiza con Papel Kraft. Es por lo tanto un material cuya base es la celulosa.

3.5 ANÁLISIS DE PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS

El transformador requiere menor cuidado comparado con otros equipos eléctricos. El grado de mantenimiento e inspección necesarios para su operación depende de:

- ✓ Su capacidad,
- ✓ La importancia dentro del sistema eléctrico,
- ✓ El lugar de instalación dentro del sistema,
- ✓ Las condiciones climatológicas,
- ✓ El ambiente

Y en general, de las condiciones de operación.

El transformador de repuesto (en Stand-by) deberá conservarse siempre en las mejores condiciones. Por lo tanto, su mantenimiento debe ser igual al del transformador en servicio teniendo especial cuidado en vigilar el estado de su

aceite.

En este Tutorial hemos desarrollado el **análisis de problemas de mantenimiento de transformadores eléctricos**.

Para hacer un correcto análisis de los problemas de mantenimiento se debe especificar primero el problema presente en el transformador eléctrico y luego rastrear la causa de las fallas para tomar medidas que permitan contrarrestarlas, antes de seguir puede ver: Los factores que originan una falla.

Los factores que originan una falla: Los factores que originan fallas pueden clasificarse de la siguiente manera:

1. Imperfección en las especificaciones

- ✓ Error en la selección del tipo de aislamiento.
- ✓ Capacidad no apropiada.
- ✓ Falta de atención a las condiciones en el lugar de instalación.

2. Imperfecciones en las instalaciones. Instalación incorrecta

- ✓ Capacidad y rango de protección del pararrayos incorrecto.
- ✓ Interruptor y relé de protección incorrectos

3. Imperfecciones en la operación y mantenimiento del equipo

- ✓ Partes conductoras externas flojas y calentamiento de las mismas.
Deterioro del aceite de aislamiento
- ✓ Carga excesiva o error en la conexión de los cables.
- ✓ Equivocación en el funcionamiento, y descuido en el arreglo de los circuitos de protección.

- ✓ Inspección insuficiente de los empaques y de las válvulas.
- ✓ Mantenimiento insuficiente de los accesorios.

Con el paso de los años el desarrollo de la técnica y la tecnología han permitido que la ingeniería de mantenimiento tenga un desenvolvimiento optimo en el análisis de problemas de mantenimiento de aparatos y dispositivos utilizados en la actual industria; en el caso de nuestro análisis se ha determinado que:

“Los aceites aislante-refrigerante utilizados en transformadores, presentan, de acuerdo a la tecnología actual, informaciones sobre las condiciones de operación de los equipos, puesto que estos aceites son productos que sufren degradación por esfuerzos térmicos y eléctricos, que generan productos de descomposición, que son usados para evaluar la existencia o no de fallas en los transformadores ejerciendo así, gran influencia sobre la vida útil máxima a ser obtenida por los mismos”

Esta es la razón por la cual en el análisis de los problemas de mantenimiento de transformadores eléctricos se debe dar el lugar principal al **análisis de problemas del aceite aislante y refrigerante**, en lo que sigue presentamos una serie de problemas de mantenimiento con sus causas y posible solución. En la mayoría de los casos se pueden ejecutar también las **Pruebas de transformadores** y según los resultados tomar las medidas correspondientes. Se debe tener en cuenta siempre un adecuado manejo del transformador eléctrico.

Hemos clasificado los problemas de mantenimiento en transformadores eléctricos de la siguiente manera:

3.5.1 Problemas del aceite aislante y refrigerante

Durante el funcionamiento normal del transformador, el aceite se deteriora y forma compuestos ácidos los cuales llegan a formar barros que dificultan una buena disipación del calor y una adecuada capacidad aislante; como consecuencia de lo anterior se presentan los siguientes problemas de mantenimiento:

En todos los problemas puede necesitar un análisis de gases disueltos en el aceite.

Entre los problemas en el aceite aislante y refrigerante se encuentran:

- ✓ Formación de arcos eléctricos
- ✓ Oxidación del aceite
- ✓ Descomposición del aceite

Análisis de gases disueltos en el aceite: En los transformadores es importante realizar un seguimiento de los gases disueltos en los aceites (DGA Dissolved Gas Analysis). Mediante una cromatografía gaseosa, identificamos y cuantificamos los gases disueltos en los aceites aislantes.

La aplicación del análisis de gases disueltos (DGA) para aceites aislantes del transformador, sirve para determinar:

- ✓ La tendencia de los datos del análisis DGA comparándolo con las típicas guías límites de los valores DGA.

- ✓ Las propiedades físicas del aceite aislante para transformadores y equipo de subestación.
- ✓ Los efectos de la oxidación en el aceite para aislamiento. Normalmente, las fallas en los transformadores, ocurren en zonas bañadas en aceite aislante.

Figura 229. Seguimiento de los gases disueltos en los aceites



Fuente: <http://transformerservices.com>

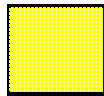
En un transformador, los gases generados se encuentran disueltos en el aceite aislante, en el espacio existente encima del aceite o en los dispositivos de colección de gases (relevador Buchholz). La detección de una condición anormal requiere de una evaluación de la concentración del gas generado y de la tendencia de generación.

En el siguiente gráfico, se muestran los fallos producidos en los transformadores relacionados con las concentraciones de gases existentes en los aceites.

DP: Descargas Parciales Descargas en cavidades llenas de gases como consecuencia de una impregnación incompleta, alta humedad en el papel, sobresaturación de aceite o cavitación y que conduce a la formación de cera X (fragmentos polimerizados del aceite).



D1: Descargas De Baja Energía Chispas o arcos entre malas conexiones. Formación de caminos conductores en bloques de madera, en el adhesivo del aislante.

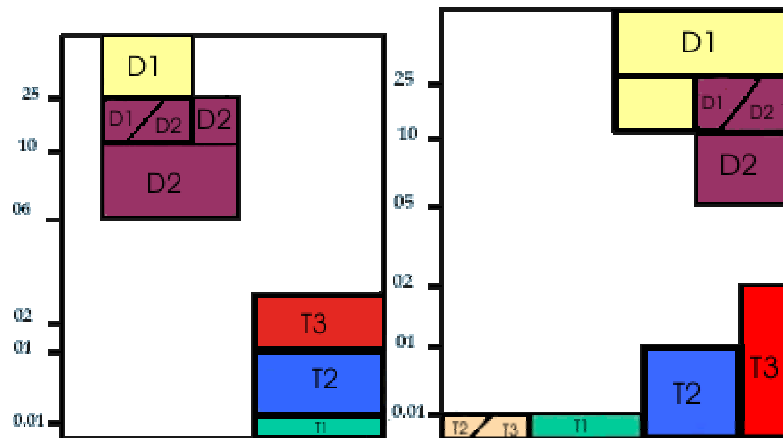


D2: Descargas De Alta Energía Cortocircuitos entre baja tensión y tierra. Formación de caminos conductores o arcos de alta energía local o de potencia.



La DGA (Análisis de Gases Disueltos) identifica la presencia de hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), monóxido de carbono (CO), oxígeno (O₂), metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), etano (C₂H₆), etileno (C₂H₄) y acetileno (C₂H₂).

Figura 230. Análisis de gases del aceite aislante y refrigerante



T1: DEFECTO TÉRMICO ($t < 300^{\circ}\text{C}$) Sobrecarga del transformador en situaciones de emergencia. Objeto bloqueado que restringe el flujo del aceite.



T2: DEFECTO TÉRMICO ($300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$) Contactos defectuosos en conexiones atornilladas, contactos deslizantes, contactos del interior del selector. Rotura del aislamiento.



T3: DEFECTO TÉRMICO ($t > 700^{\circ}\text{C}$) Fuertes corrientes circulatorias entre cuba y núcleo. Cortocircuitos en las juntas de las chapas magnéticas del núcleo.

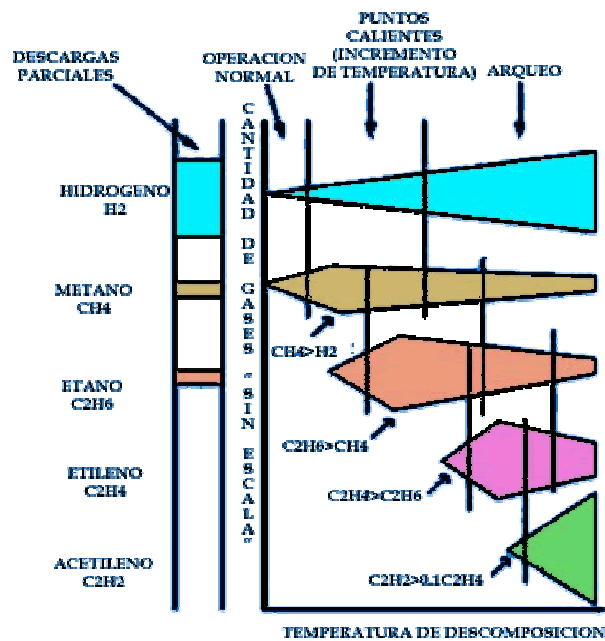


Los mecanismos de falla más comunes son arqueo, corona, descargas de baja energía, y sobrecalentamiento general o puntos calientes. Cada uno de estos

mecanismos puede presentarse individual o simultáneamente y resultar en la degradación de los materiales aislantes, así como en la formación de gases combustibles y no combustibles. De la operación normal se tiene también la formación de algunos gases. De hecho, es posible para algunos transformadores operar a lo largo de su vida útil con grandes cantidades de gases presentes (cosa que no es común, pero que suele ocurrir), por lo que en tales casos se deben realizar investigaciones adicionales para emitir un diagnóstico preciso.

La cantidad de cada gas, con respecto al volumen total de la muestra, indica el tipo de falla que está en proceso.

Figura 231. Relaciones Comparativas De La Evolución De Los Gases Generados En El Aceite, En Función De La Energía Disipada En El Proceso De Fallas



Una vez obtenidas las concentraciones a través de la cromatografía de gases se usan varias técnicas para diagnosticar la condición del transformador: la gráfica de Dömenburg, el triángulo de Duval, el método nomográfico, patrones de diagnóstico a través del análisis de gases disueltos (AGD) y relaciones entre gases de R. R. Rogers. Las primeras cuatro (la gráfica de Dömenburg, el triángulo de Duval, el método nomográfico, patrones de diagnóstico a través del análisis de gases disueltos (AGD)) están orientadas a diagnosticar la condición del transformador basándose en una interpretación gráfica. En las figuras siguientes se muestran los formatos empleados por cada una de estas técnicas.

Figura 232. Indicadores de falla en transformadores por el método de Domenburg

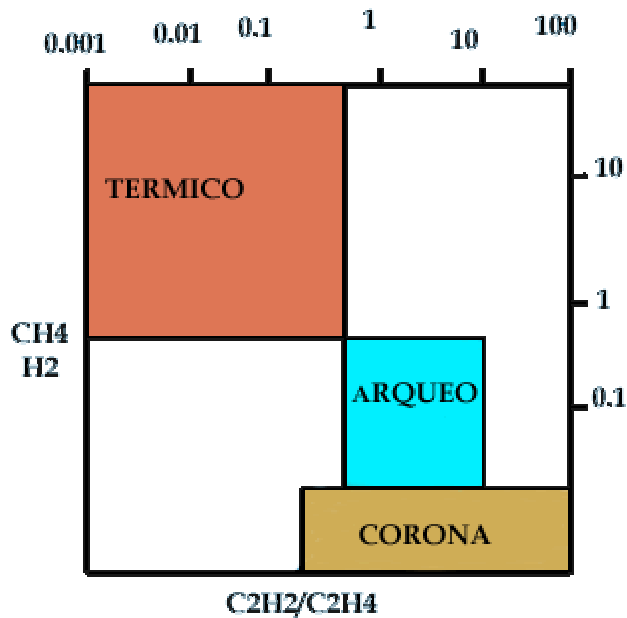
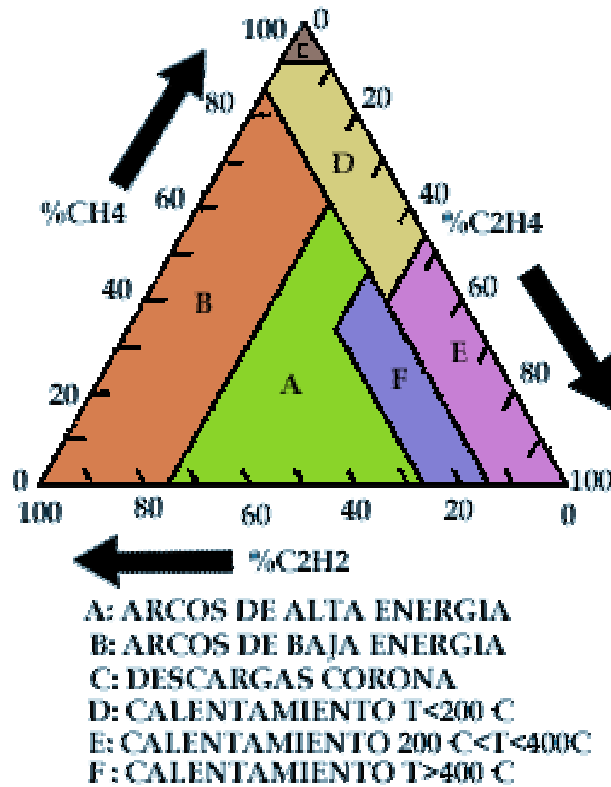


Figura 233. Indicadores de falla en transformadores por el método de Duval



Formación de arcos eléctricos

- ✓ Formación de arcos en los lugares donde el aceite es usado como aislante (núcleo y/o bobinados o en el interruptor)

Este problema se debe a que el aceite tiene baja rigidez dieléctrica, se recomienda deshidratar y purificar el aceite, Se puede hacer un análisis de las propiedades del aceite. Vea: análisis de las propiedades del aceite

- ✓ El Aceite ha sido purificado y deshidratado, pero continúan los arcos eléctricos

Este problema es causado por una Baja Tensión Interfacial, El descenso paulatino de la tensión interfacial es señal de envejecimiento del aceite o de mezcla de un aceite dieléctrico con otro lubricante industrial, para solucionar este problema se recomienda Cambiar el aceite. Vea: Cambio De Aceite Aislante Y Refrigerante.

Oxidación Del Aceite: El aceite se oxida por el contacto con el aire y éste proceso se acelera por el aumento de la temperatura del transformador y por el contacto con metales tales como el cobre, el hierro, etc. ; la presencia de metales y los compuestos organo-metálicos hace que se comporten como activadores de la oxidación.

Además el aceite dieléctrico se activa bajo ciertas condiciones de luz, calor e iones de metales pesados, para producir radicales libres que causan AUTO-OXIDACIÓN.

El Aceite presenta oxidación y/o se notan puntos calientes en el transformador

Cuando el inhibidor de oxidación se agota, el aceite se oxida muy rápidamente. Una velocidad de consumo anormalmente alta puede indicar la existencia de puntos calientes en el Transformador. Se puede hacer un análisis de las propiedades del aceite.

Se recomienda incorporar un inhibidor de oxidación o antioxidante. El mecanismo de acción es ataque a peróxidos, formando moléculas inocuas. Un aceite inhibido se degrada más lentamente que un aceite no inhibido, siempre que el inhibidor esté presente.

El Aceite presenta agua diluida en él

El agua en el aceite puede provenir del aire atmosférico o de la degradación de la celulosa (aislante sólido del Transformador). Cuando el contenido de agua supera el valor de saturación, aparece agua libre en forma de turbidez o gotas decantadas. El agua disuelta afecta las propiedades dieléctricas del aceite: disminuye la rigidez dieléctrica y aumenta el factor de disipación dieléctrica (Tangente Delta).

En un transformador, el agua se reparte entre el aceite y el papel, en una relación predominante hacia el papel. Un alto contenido de agua acelera la degradación de la celulosa, reduciendo la vida útil del aislante sólido; Además como consecuencia de lo anterior se incrementa la velocidad normal de degradación del aceite.

Se recomienda deshidratar y purificar el aceite.

Descomposición del aceite: La presencia de agentes contaminantes y de cualquier producto de degradación del aceite, se manifiesta modificando una o varias de sus propiedades específicas, durante el servicio, pueden aparecer en el aceite otros agentes contaminantes como productos polares solubles que alteran sus propiedades.

El aceite sufre una serie de reacciones químicas tales como la descomposición y la polimerización, que producen partículas que no se disuelven en el aceite y que se precipitan en el núcleo y bobinados. Estas partículas son llamadas sedimentos. Los sedimentos no afectan directamente la rigidez dieléctrica, pero los depósitos que se forman sobre los devanados impiden su normal refrigeración.

Presencia de sustancias volátiles contenidas en el aceite aislante Las sustancias volátiles aparecen en el aceite debido a factores como:

- ✓ La absorción de la humedad del aire
- ✓ Sobrecarga, sobrecalentamiento
- ✓ La absorción de partículas extrañas que entran en el aceite

Se recomienda aplicar al aceite el proceso de alto vacío.

Presencia de compuestos pesados como lacas, barnices y carbón en el aceite

El aceite tiene como funciones principales aislar eléctricamente, extinguir arcos y disipar el calor, cuando una de estas funciones falla, la anomalía del transformador deja sus huellas en el aceite en forma de Compuestos pesados (lacas, barnices y carbón) o en forma de compuestos livianos (gases de hidrocarburos).

Se recomienda hacer un análisis de las propiedades del aceite, para decidir regenerar o cambiar el aceite.

3.5.2 Problemas eléctricos

Entre los problemas eléctricos se encuentran:

- ✓ Problema crítico: Cortocircuito franco
- ✓ Problemas en el núcleo
- ✓ Problemas en los devanados
- ✓ Problemas en el aislamiento
- ✓ Problemas en el voltaje y la relación de transformación
- ✓ Problemas eléctricos acompañados de grandes cambios de temperatura

Problema crítico: Cortocircuito franco

Corte en el suministro de energía eléctrica con indicios de cortocircuito

Estos cortocircuitos pueden ser ocasionados por daños en los elementos internos del aparato, malas operaciones en el sistema; fallas en los equipos que alimentan, vandalismo o daños en el aparato mismo.

Se pueden originar tres posibles cortocircuitos:

Fase- fase ; fase- tierra o Cortocircuito Franco (cuando ocurre en todas las fases del transformador), siendo este último el más catastrófico.

Para dar solución a este problema se recomienda hacer el desencubado del transformador, tomar muestras de aceite y de gases almacenados en los dispositivos de colección de gases (rele Buchholz), para análisis de las propiedades del aceite y Análisis de gases. Se recomienda después de restaurar el servicio de energía eléctrica instalar un sistema de monitoreo y diagnóstico en línea.

Problemas en el núcleo

Corto circuito en el Aislamiento del núcleo y se percibe un calentamiento excesivo del transformador

Puede existir aislamiento deficiente entre las láminas del núcleo, entre el tornillo de sujeción del núcleo y el tubo de aislamiento. El aislamiento deficiente causa un cortocircuito en el flujo magnético, se

produce constantemente una corriente de corto circuito en este lugar y provoca un calentamiento excesivo pudiendo desarrollar fallas serias.

Se recomienda cambiar las láminas deterioradas en el núcleo y/o los otros elementos en contacto con él.

Calentamiento excesivo del núcleo

Puede originarse por un aislamiento deficiente de los tornillos de afianzamiento del núcleo o un canal de enfriamiento de aceite obstruido.

Se recomienda mejorar o cambiar el aislamiento de los tornillos de sujeción y/o destapar el canal obstruido.

Corriente de cortocircuito parcial

Se puede originar por un aislamiento y/o contacto a tierra deficientes.

Problemas en los devanados

Tensiones transitorias elevadas de corta duración, con algunas chispas en los devanados

Este problema se puede presentar debido a una falta de rigidez dieléctrica en las bobinas y/o en el aceite.

Se recomienda usar aislamiento sólido entre bobinas adyacentes, Cambiar o regenerar el aceite aislante y refrigerante para proporcionar un gran poder aislante, para resistir las sollicitaciones eléctricas que se presentan en el servicio.

Problemas en el aislamiento

Mal funcionamiento del aislamiento del transformador (pequeñas chispas) cuando se somete a cargas cercanas a la máxima estipulada

El aislamiento del transformador se deteriora por el aumento de la temperatura y este deterioro a través de los años empeora y se convierte en una falla seria cuando el transformador sufre una carga excesiva.

Crecimiento de la concentración de monóxido de carbono (CO), desproporcionado a la concentración de dióxido de carbono (CO₂)

Una falla eléctrica severa (como un cortocircuito seguido de un corte de energía) en el transformador puede provocar calentamiento, con temperaturas locales superiores a 700 °C, este calentamiento degrada las capas de papel en contacto con el cobre generándose monóxido de Carbono(CO).Se recomienda hacer un análisis del papel kraft, y determinar su Grado De Polimerización (Gp).

Deterioro del aislamiento de la parte externa del transformador

El aislamiento externo se deteriora debido al viento, la nieve, la sal y el polvo; Esto puede prevenirse con una inspección y un mantenimiento correctos.

Problemas en el voltaje y la relación de transformación

Incapacidad para incrementar la tensión y la relación de transformación del transformador

Puede ocurrir por Fatiga eléctrica de los fluidos y el material aislante; Se recomienda el uso de aceites con mejores cualidades dieléctricas y mantener bajos los contenidos de agua residual en los fluidos aislantes y el material.

Tensiones transitorias elevadas de corta duración, y se observan burbujas en el aceite del tanque y ruidos fuertes

Se origina por Degradación del papel aislante: Cualquier pequeña cantidad de gas dejada inadvertidamente en el campo dieléctrico sufre una elevada sollicitación dieléctrica (dos veces la que tendría el aceite) debido a la baja constante dieléctrica del gas. Como el gas encerrado, además de estar sometido a esfuerzos dieléctricos elevados, tiene una rigidez dieléctrica baja como consecuencia se tiene una pérdida importante de rigidez dieléctrica, y así se presentan las chispas eléctricas.

Se recomienda utilizar materiales de aislamiento sólido más porosos, permitiendo eliminar, mediante el vacío, los gases y agua vaporizada, así como conseguir el relleno de todas las cavidades e intersticios con aceite.

Problemas eléctricos acompañados de grandes cambios de temperatura

Calentamiento rápido del transformador, con pequeños incrementos en la temperatura ambiente y/o se notan puntos calientes del tanque.

Existen varias posibilidades para que esto ocurra, puede deberse a:

- ✓ Una falla en las propiedades del aceite como una falta de refinación en el aceite, Alta viscosidad del Aceite y/o un elevado punto de fluidez.

- ✓ El aceite se ha oxidado por humedad presente en él o debido a la corrosión de las partes metálicas adyacentes a él.
- ✓ Debido al deterioro de los materiales de aislamiento, del aceite, de los bujes, etc. debido a absorción de humedad.

Se recomienda regenerar el aceite o cambiarlo por un aceite Bien refinado y libre de materiales que puedan corroer las partes metálicas evitando la oxidación del aceite, además para evitar la combustibilidad y limitar los efectos secundarios de defectos internos en transformadores de potencia se usa askarel.

Humo antes y después de algunos ruidos extraños en el transformador

Se están degradando las propiedades eléctricas del aceite debido a que:

- ✓ El aceite se esta evaporando fácilmente
- ✓ El aceite posee componentes que se polarizan
- ✓ Hay materiales iónicos solubles en el aceite

Se recomienda Cambiar el aceite por uno que tenga poca evaporación, Para que no se afecte la rigidez dieléctrica del aceite además debe estar libre de humedad y de componentes que se polaricen o materiales iónicos solubles en el aceite para evitar degradar las propiedades eléctricas del aceite

3.5.3 Problemas en accesorios mecánicos

En la inspección regular de los elementos mecánicos se encuentran problemas como:

- ✓ Excesivos calentamientos parciales en especial la parte sujetadora de los terminales.

- ✓ Daños locales (fisuras).
- ✓ El flujo del aceite se dificulta y la temperatura desciende

Problemas en accesorios mecánicos

En la inspección regular de los bujes se encontró excesivos calentamientos parciales en especial la parte sujetadora de los terminales

El calentamiento excesivo de los terminales se debe en la mayoría de los casos a aflojamientos, se recomienda Eliminar el polvo de las partes de contacto y apretar firmemente Es conveniente pintar la parte sujetadora con pintura indicadora de calor.

En la inspección normal se encontraron daños locales (fisuras) de los bujes

Puede deberse a polvo, golpes o aflojamientos, se recomienda hacer limpieza normal de los bujes, si los daños son muy serios cambiar por nuevos.

El flujo del aceite se dificulta y la temperatura desciende

Esto puede ocurrir por:

Fugas de aceite de las cabeceras del radiador del equipo de refrigeración y de las partes soldadas del panel o del tubo del mismo.

Se acumulan sedimentos en las obleas o en el tubo del radiador del equipo de refrigeración.

3.5.4 Otros Problemas

Además de los anteriores se tratan otros problemas como:

- ✓ Ruido
- ✓ Problemas con la presión interna y/o el volumen de aceite del transformador
- ✓ Otros problemas relacionados con el funcionamiento normal
- ✓ Problemas relacionados con sistemas de monitoreo y diagnóstico en línea.

Ruido

Ruido anormal

Existen varias causas por las cuales se puede producir el ruido anormal:

- ✓ Ruido anormal por descarga estática, debido a partes metálicas carentes de tierra o a imperfección de la puesta a tierra.
- ✓ Resonancia de la caja y de los radiadores debida a cambios anormales en la frecuencia de la fuente de corriente,
- ✓ Un defecto en el mecanismo de ajuste del núcleo,
- ✓ Un defecto en la estructura central, (como desajuste en el núcleo) es posible que se encuentren flojos los tornillos de sujeción de las bridas,
- ✓ Aflojamiento de las piezas de anclaje
- ✓ Aflojamiento de las piezas de fijación y de las válvulas

Estos ruidos pueden detectarse desde fuera o acercándose a la caja, aún cuando no sean muy fuertes.

Se recomienda, inspeccionar las conexiones del transformador; Cuando se encuentren los terminales de tierra flojos, se debe desenergizar el transformador y apretarlos enseguida. Los tornillos de los cimientos que estén sujetos a grandes cargas, deben ser apretados firmemente para evitar el desplazamiento del transformador.

En algunos casos las válvulas se aflojan debido a vibraciones, se deben apretar nuevamente.

Problemas con la presión interna y/o el volumen de aceite del transformador

Aumento instantáneo e incontrolado de la presión interna del transformador eléctrico

La presión puede experimentar, por causas accidentales, unos aumentos instantáneos e incontrolados de la presión dentro del tanque y en caso de que el aceite no tenga la posibilidad de descargarse hacia el exterior, el transformador estallará, con todas las consecuencias que puedan derivarse de ello.

Existen varias razones por las cuales se puede presentar este problema:

- ✓ La Válvula de alivio esta calibrada a una presión mayor que la máxima estipulada para el tanque del transformador.

En este caso se recomienda calibrar la válvula a la máxima presión estipulada para el tanque del transformador.

- ✓ La Válvula de alivio esta deteriorada y ya no mantiene la máxima presión estipulada para el tanque del transformador.

Se recomienda evacuar el aceite y cambiar la Válvula de alivio del transformador

- ✓ Hay una obstrucción en la entrada de la válvula de sobrepresión.

Se recomienda limpiar la válvula de alivio del tanque del transformador.

- ✓ Hay una obstrucción en el ducto de conexión entre el tanque del transformador y la válvula de sobrepresión.

Se recomienda limpiar el ducto y la válvula en el transformador.

- ✓ Cortocircuito repentino y violento al interior del transformador.

Se recomienda aplicar una o más válvula en el transformador que tengan una sección de descarga proporcional al volumen del aceite que está contenido en el transformador.

Aumento instantáneo e incontrolado del volumen de aceite dentro del tanque del transformador eléctrico

Existen varias razones por las cuales se puede presentar este problema:

- ✓ La Válvula de alivio esta calibrada a una presión mayor que la máxima estipulada para el tanque del transformador.

La Válvula de alivio esta deteriorada y ya no mantiene la máxima presión estipulada para el tanque del transformador.

- ✓ Hay una obstrucción en la entrada de la válvula de sobrepresión.
- ✓ Hay una obstrucción en el ducto de conexión entre el tanque del transformador y la válvula de sobrepresión.
- ✓ Cortocircuito repentino y violento al interior del transformador.

Puede evitarse que esto ocurra, aplicando una o más válvulas que tengan una sección de descarga proporcional al volumen del aceite que está contenido en el transformador.

Pérdida instantánea e incontrolada del volumen de aceite dentro del tanque del transformador eléctrico.

Puede ocurrir porque la Válvula de alivio esta calibrada a una presión menor que la máxima estipulada para el tanque del transformador. En tal caso se recomienda Calibrar la válvula a la máxima presión estipulada para el tanque del transformador.

Este problema se puede presentar por otras razones, tales como:

Filtraciones en el tanque del transformador y/o en la unión con la válvula de sobrepresión

- ✓ Deterioro de algún empaque o por mal posicionamiento.
- ✓ Fugas de aceite en un empaque, válvula, cordón de soldadura
- ✓ Daños o fugas de aceite en los bujes

En estos casos se recomienda:

- ✓ Verificar cuidadosamente las válvulas y los empaques.
- ✓ Ajustar bien las uniones, y/o tapar posibles agujeros en el tanque del Transformador.

- ✓ Revisar las diversas piezas en los bujes para ver si hay fugas de aceite. Si el aceite se sale por el empaque, ajustarlo ó cambiarlo.
- ✓ Aplicar cambio de juntas de estagnación, mediante Soldadura en frío o mediante Soldadura eléctrica.

Otros problemas relacionados con el funcionamiento normal

Al abrir interruptores que han estado en servicio se observa la presencia de polvos blancos

Esto puede ocasionarse como resultado de los productos de descomposición tóxicos en los interruptores. Se recomienda recogerlos para hacerlos inertes se tratan con cal viva y agua eliminándolos en esta sencilla forma.

Repentinamente se produce una corriente excesiva y en ocasiones una pequeña llama de fuego y se observa deformado el bobinado y/o el aislamiento.

Puede ser consecuencia de un rayo o a una tensión anormal o a corriente excesiva proveniente de un cortocircuito externo o por golpes mecánicos intensos y frecuentes se produce una deformación de los materiales de aislamiento y del bobinado, lo que puede dañar al transformador.

Se forman costras de aceite en el interior del tanque y/o en la entrada de la válvula de sobrepresión cuando se trabaja a bajas temperaturas

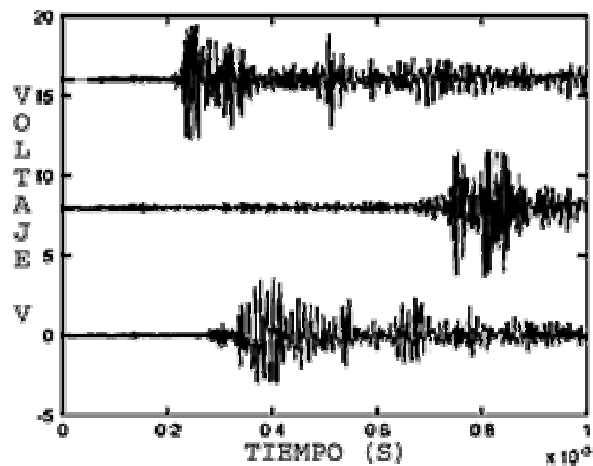
Puede producirse por Alta viscosidad del aceite, en tal caso se recomienda utilizar un aceite que tenga un bajo punto de fluidez para asegurar el poder de disipación de calor generado en el equipo en un amplio rango de temperaturas.

Problemas relacionados con sistemas de monitoreo y diagnóstico en línea

En algunos transformadores de Potencia se instalan sistemas de monitoreo y diagnóstico en línea y se presentan algunos problemas como los ejemplos que se muestran a continuación:

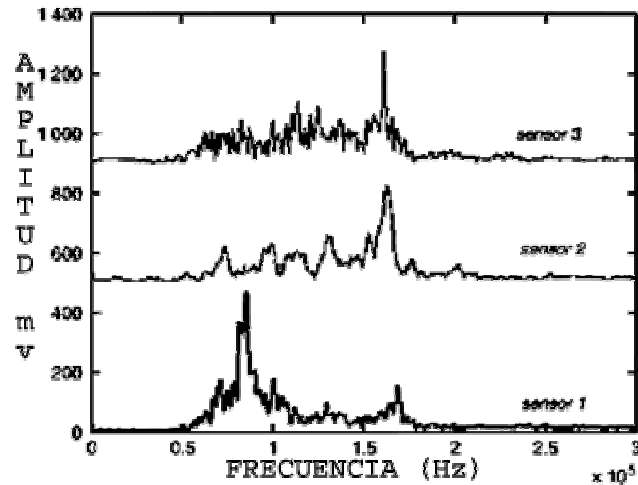
Se detectaron emisiones ultrasónicas de gran amplitud, de acuerdo con su frecuencia característica se indica la existencia de arcos. Con el análisis de las señales, los arcos se localizaron en el interior de la cuba del cambiador de derivaciones. En la figura se muestran las señales registradas por los tres sensores ubicados cerca del punto de mayor emisión acústica.

Figura 234. Señales detectadas acústicamente en la cuba del cambiador de derivaciones del autotransformador.



Fuente: <http://www.powersourcing.com/se/>

Figura 235. Espectros de frecuencia correspondientes de cada una de las señales registradas en el punto más cercano a la fuente de emisión ultrasónica en la figura anterior.



Fuente: <http://www.powersourcing.com/se/>

Para dar solución a este problema se debe tener en cuenta que en la Figura de las señales detectadas acústicamente se pueden distinguir los retardos entre las tres señales, lo que hace posible determinar que el punto de ubicación del sensor de señal superior en la figura fuera el más cercano a la fuente de emisión ultrasónica. Además en la Figura de los espectros de frecuencias de las señales se observa que la componente de 160 kHz es la predominante.

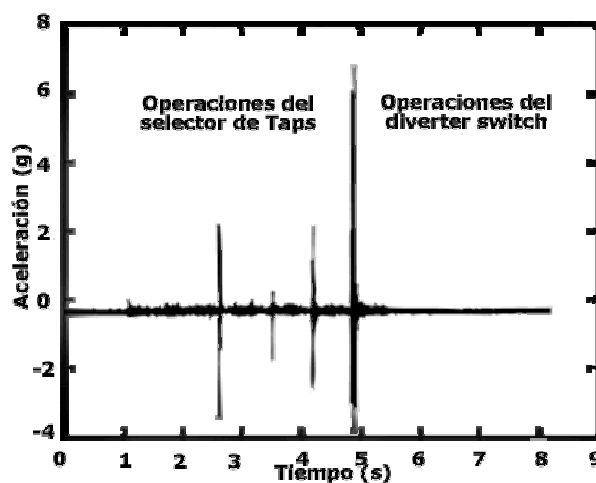
Con base en el diagnóstico emitido durante las mediciones realizadas en este autotransformador se determinó la necesidad de realizar una inspección interna con el objeto de comprobarlo.

Durante la inspección al cambiador de derivaciones se encontró una gran cantidad de carbón acumulado, especialmente en el compartimiento de

resistencias del diverter switch, en el área de contactos fijos y en el lado del conector del anillo inferior del diverter switch. También se observó una ligera degradación superficial (tracking) a todo lo largo del cilindro soporte del cambiador de derivaciones. Por lo anterior, se sustituyó el cambiador de derivaciones y se efectuó un nuevo diagnóstico que no registró ninguna señal ultrasónica. El diagnóstico permitió detectar la falla incipiente y dar mantenimiento al transformador para corregirla.

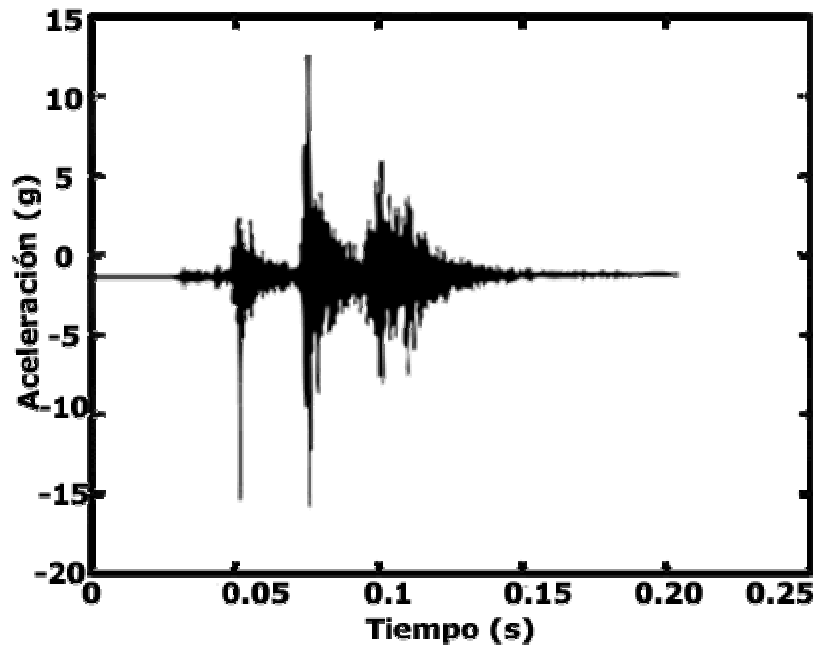
En otro caso en donde se utilizó La técnica Vibracional para diagnosticar el estado operativo de un cambiador de derivaciones con carga de un autotransformador de potencia monofásico de 125 MVA y de 400/230 kV, que se sometería a mantenimiento. El equipo usado fue un digitalizador de cuatro canales de entrada, modelo 6810. El ancho de banda de la información fue de 1 a 6 kHz y se usaron frecuencias de muestreo de 1 y 40 kHz en el digitalizador para su adquisición.

Figura 236. Registro de una Señal de un cambiador de Derivaciones con carga, durante la Operación.



Fuente: http://www.haefely.com/measuring_diagnostics/

Figura 237. Mayor detalle de la operación del diverter switch



Fuente: http://www.haefely.com/measuring_diagnostics/

De las señales de vibración de la Figura 236 se puede observar que el tiempo que transcurre durante la operación completa de un cambiador de derivaciones con carga es de aproximadamente seis segundos.

Se observa en las señales registradas un comportamiento anormal en la forma de onda de la señal y en los tiempos de ocurrencia de los eventos; la forma de onda muestra un comportamiento de tipo oscilatorio, mientras que los tiempos de ocurrencia de los eventos del selector de taps y la operación del diverter switch difieren.

Al realizarse el mantenimiento se detectaron problemas mecánicos en algunas piezas del mecanismo del cambiador. Se sustituyeron siete piezas del sistema

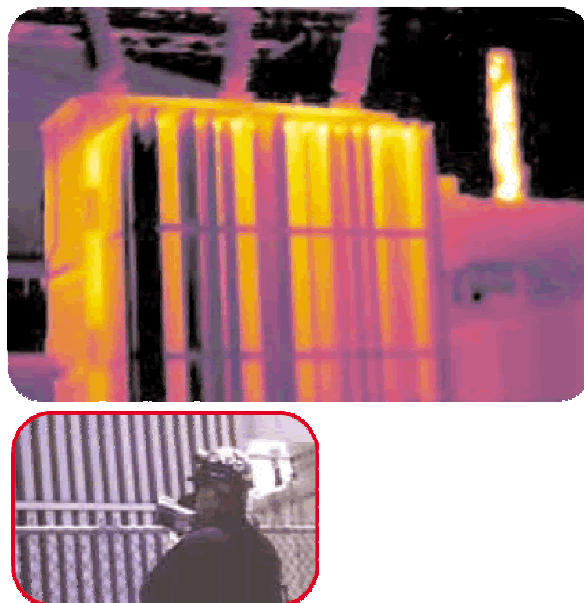
de accionamiento, incluyendo dos resortes, una pieza del sistema de contactos fijos y once piezas del sistema de contactos móviles.

En un transformador con sistema de monitoreo y diagnóstico en línea se requiere determinar la razón de la presencia de ciertos compuestos que pueden afectar al equipo; el análisis de gases no logro determinar si la causa se debe a descargas parciales o si tiene un origen térmico. El sistema de diagnóstico, a través de emisiones ultrasónicas, no produce señales.

La presencia de ciertos compuestos en el análisis de gases es tan compleja que no es posible determinar si la causa se debe a descargas parciales o si tiene un origen térmico. El sistema de diagnóstico, a través de emisiones ultrasónicas, responde sólo a señales producidas por descargas parciales o arcos. Un fenómeno puramente térmico no produce estas señales, por lo tanto la ausencia de emisiones ultrasónicas como en este caso indica que el problema es de origen térmico.

Igualmente, si hubiese presencia de emisiones ultrasónicas junto con el análisis de gases se confirmaría la existencia de descargas parciales. Debido a ello, se recomienda que los resultados del análisis de gases disueltos en el aceite se tomen en cuenta cuando se realice el diagnóstico a través de emisiones ultrasónicas.

Figura 238. Inspección termográfica de un transformador



Fuente: CD. Análisis Eléctrico, Postgrado en Gerencia de Mantenimiento UIS.

4. GENERADORES ELÉCTRICOS

Los generadores eléctricos, son un grupo de aparatos que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica, con medios electromagnéticos. A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dínamo.

4.1 CLASIFICACION GENERAL DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

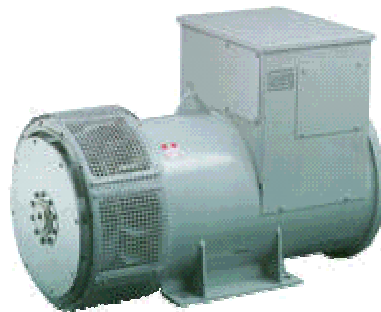
Hay tres tipos básicos de generadores eléctricos rotatorios:

- ✓ Síncrono de corriente alterna (CA)
- ✓ De inducción de corriente alterna (CA)
- ✓ Rotatorio de corriente directa (CD)

4.2 GENERADOR SÍNCRONO

Los generadores síncronos o alternadores (Figura. 239) son máquinas

Figura 239. Generador síncrono



Fuente: <http://200.16.6.4/cursos/pregrado/iee215/gensincrono/sincrono.htm>

sincrónicas que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna (CA). Son utilizados en aplicaciones donde el generador de corriente directa (CD) convencional no es capaz de suministrar la corriente suficiente para grandes demandas de electricidad.

4.2.1 Principio de funcionamiento

Los generadores síncronos o alternadores son máquinas sincrónicas que se usan para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna. Son utilizados en aplicaciones donde el generador de corriente directa (CD) convencional no es capaz de suministrar la corriente suficiente para grandes demandas de electricidad.

El generador síncrono consiste en un electroimán girando, llamado rotor cilíndrico generalmente, al lado de una bobina, estator conectado en estrella, el cual por efecto de la rotación del rotor va a inducir tensión trifásica en el estator, para esto tiene que haber una velocidad relativa entre el rotor (también llamado campo) y el estator (o armadura). Se conectan las bobinas en estrella principalmente por dos razones:

- ✓ Para obtener una mayor tensión de línea con menor esfuerzo, además se trabaja con conductores más delgados.
- ✓ Tiene que ver con las armónicas. En conexión estrella se anula el efecto de la 3ra armónica, esto reduce pérdidas por calor contribuyendo a una máquina más eficiente. En conexión delta las armónicas se suman y las corrientes ya no son cero, sino una pequeña corriente que empieza a calentar el sistema.

Si en un generador síncrono se aplica al embobinador del rotor una corriente directa (CD), se producirá un campo magnético en el rotor. Entonces el rotor del generador se impulsará por medio de un motor primario, lo cual producirá un campo magnético rotatorio dentro de la máquina. Este campo magnético rotatorio inducirá un sistema trifásico de voltajes dentro del embobinado del estator del generador.

El rotor de un generador síncrono es esencialmente un gran electroimán. Los polos magnéticos del rotor pueden ser de construcción saliente o no saliente. El término saliente significa protuberante o resaltado; y un polo saliente es un polo magnético que resalta de la superficie del motor. Los rotores de polo no saliente se usan normalmente para rotores de dos y cuatro polos, mientras que los de polo saliente se utilizan normalmente en rotores de cuatro o más polos. Como el rotor está sujeto a cambios en los campos magnéticos, se construye de láminas delgadas para reducir pérdidas por corriente parásitas.

Un flujo de corriente directa (CD) debe alimentar el circuito de campo del rotor. Puesto que éste está girando, se necesita un arreglo especial para llevar la fuerza de corriente directa (CD) a su embobinado de campo. Hay dos métodos comunes para suministrar esta fuerza de corriente directa (CD):

- ✓ Suministrarle al rotor la potencia de corriente directa (CD) desde una fuente externa de corriente directa (CD), por medio de anillos de rozamiento y escobillas.
- ✓ Suministro de potencia de corriente directa (CD) desde una fuente de corriente directa (CD) especial, montado directamente en el eje del generador síncrono.

Los anillos de rozamiento son anillos metálicos que envuelven completamente el eje de la máquina, pero aislados de él. Cada extremo del embobinado del rotor de corriente directa (CD) está unido a cada uno de los dos anillos de rozamiento del eje de la máquina síncrona y sobre cada uno de ellos se coloca una escobilla. Si el extremo positivo de una fuente de voltaje de corriente directa (CD) se conecta a una escobilla y el extremo negativo al otro, entonces el mismo voltaje de corriente directa (CD) llegará al embobinado de campo en todo momento, sin tener en cuenta la posición angular o la velocidad del rotor.

Los anillos de rozamiento y las escobillas crean algunos problemas cuando se usan para suministrar potencia de corriente directa (CD) a los embobinados de campo de una máquina síncrona. Ellos aumentan la cantidad de mantenimiento requerido por la máquina, puesto que las escobillas deben examinarse periódicamente para ver su estado de desgaste. Además, la caída de voltaje en las escobillas puede ser la causa de pérdidas significativas de potencia de rozamiento y las escobillas se usan en todas las máquinas síncronas más pequeñas, porque ningún otro método es tan económico para suministrar la corriente de campo.

4.2.1.1 Ecuaciones características del generador síncrono

✓ Generador síncrono monofásico

La ecuación básica del generador síncrono monofásico es

$$N = 120 \frac{f}{p} \quad (31)$$

donde:

N: número de revoluciones por minuto

f: frecuencia en Hz

p: número de polos

A diferencia del motor asíncrono, esta relación se cumple exactamente en una máquina síncrona. En el caso más típico la frecuencia será 60 Hz y el generador tendrá 2 polos, así que la velocidad de giro será de 3 600 rpm.

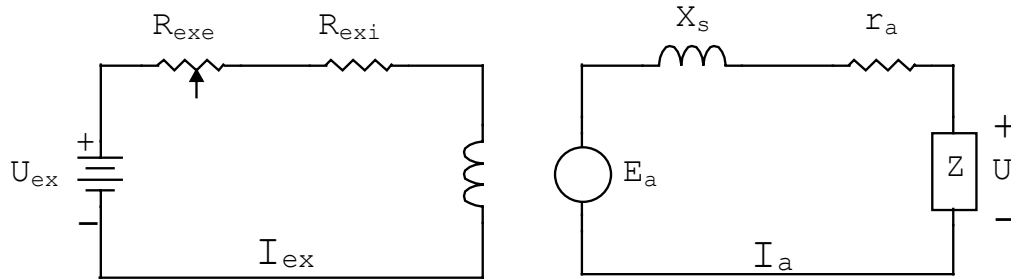
El generador síncrono puede ser monofásico o trifásico, pero a partir de los 5 kW resulta más económico fabricar generadores trifásicos, igualmente a medida que aumenta el tamaño de la máquina el campo se encuentra en el rotor.

Un generador pequeño a condiciones nominales tiene baja eficiencia, por ejemplo un generador de 1 kW puede tener una eficiencia de 50 a 60%, mientras que uno de 10 MW puede tener una eficiencia de 90% y uno de 1 000 MW puede alcanzar 99% de eficiencia.

El siguiente modelo corresponde a un generador alimentado con una fuente de corriente directa (CD) llamada excitador. Antiguamente este excitador era un generador de corriente directa (CD) en conexión paralela y alimentaba al campo del generador síncrono mediante un sistema de anillos, escobillas y carbones. Hoy en día se usa un excitador que consiste en un pequeño generador síncrono con el campo en el estator. La corriente alterna (CA) generada en el estator es rectificadora y así se alimenta el campo del generador síncrono sin el uso de anillos ni escobillas. El modelo de la Figura 240 es

válido para un generador de rotor cilíndrico y pierde precisión cuando el generador es de polos salientes.

Figura 240. Circuito equivalente de un generador alimentado con una fuente de corriente directa (CD)



Fuente: <http://200.16.6.4/cursos/pregrado/iee215/gensincrono/sincrono.htm>

R_{exi} : resistencia de excitación interna

R_{exe} : resistencia de excitación externa (con la que se regula I_{ex} y el flujo Φ_m)

Del circuito deducimos que

$$E_a = U + I_a (r_a + jX_s)$$

Pero

$$E_a = 4.44 f \Phi_m w$$

$$E_a = k \Phi_m w$$

donde $w = 2 f$

Por otro lado, la potencia mecánica suministrada por el generador viene dada por

$$P_{mec} = T w = E_a I_a \cos \theta_t$$

donde θ_t : ángulo de $r_a + jX_s + Z$

Entonces

$$T w = k \Phi_m I_a \cos \theta_t$$

Adicionalmente deducimos la ecuación

$$U_{ex} = I_{ex} (R_{exe} + R_{exi})$$

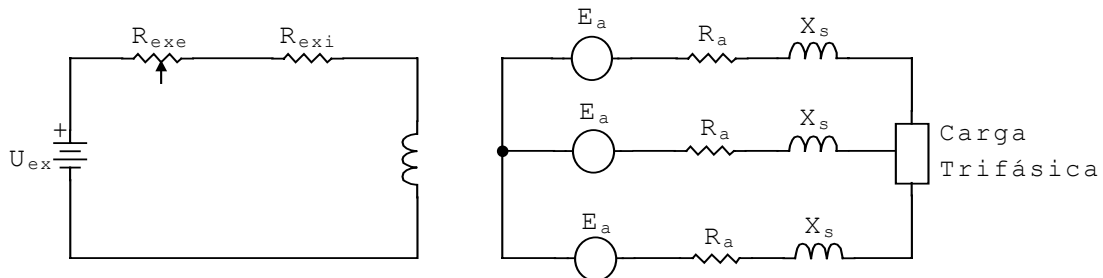
normalmente la resistencia r_a es despreciable.

Este modelo es correcto en el caso del rotor cilíndrico. Cuando la máquina es de polos salientes se prefiere utilizar otro modelo llamado el modelo d-q, que toma en cuenta el efecto de tensiones que aparecen porque el campo no es totalmente sinusoidal.

✓ Generador síncrono trifásico

Para el caso del generador síncrono trifásico, el circuito equivalente es el que observamos en la Figura 241.

Figura 241. Circuito equivalente del generador síncrono trifásico



Fuente: <http://200.16.6.4/cursos/pregrado/iee215/gensincrono/sincrono.htm>

Similarmente al circuito monofásico, las ecuaciones características por fase son

$$E_{af} = U_f + I_a (r_a + jX_s)$$

$$E_{af} = 4.44 f \Phi_m w$$

$$E_a = k \Phi_m w$$

$$U_{ex} = I_{ex} (R_{exe} + R_{exi})$$

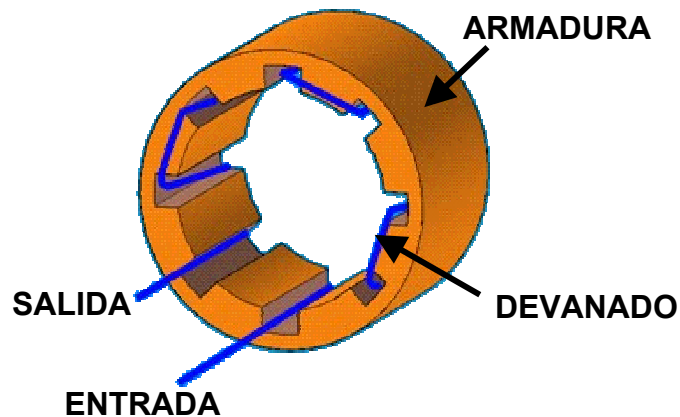
Y la potencia mecánica total será

$$P_{mec} = Tw = 3 k \varnothing_m I_a \cos \varnothing_t$$

4.2.2 Partes principales

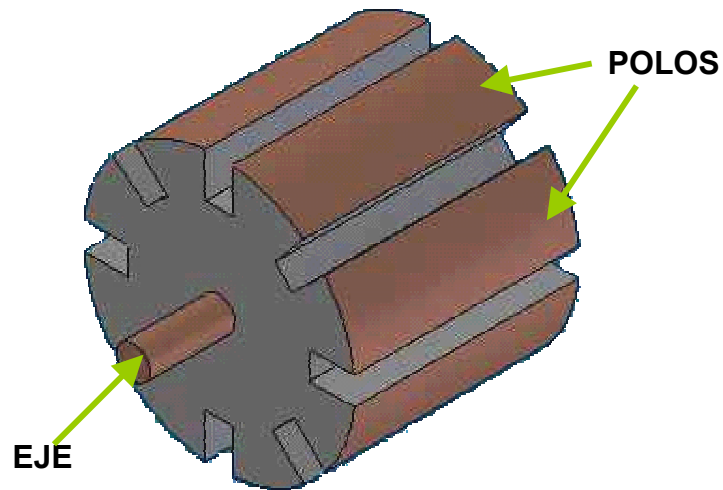
4.2.2.1 Estator o armadura. Es el conductor estacionario en su interior se encuentra ranurado longitudinalmente, para alojar su devanado (llamado devanado de armadura), podemos observarlo en la Figura 242, que será parte del circuito magnético.

Figura 242. Armadura simplificada de generador



4.2.2.2 Rotor o campo. Electroimán cilíndrico montado sobre un eje que le permite rotar en el interior del estator, que también posee ranuras longitudinales, para alojar su devanado (llamado devanado de campo), todo se puede ver en la Figura 243. En el funcionamiento del generador se necesitará colocar al campo en rotación, esto se hace por medio de turbinas de vapor (turbogenerador), o por medio de turbinas hidráulicas (generador hidráulico).

Figura 243. Rotor simplificado de un generador



Debido a que las turbinas de vapor son máquinas de gran velocidad, los turbogeneradores se construyen de rotor cilíndrico, y como las turbinas hidráulicas son máquinas de pequeña velocidad, los generadores hidráulicos se construyen de polos salientes.

4.2.2.3 Sistema de excitación. Fuente de toda la parte de la corriente directa (CD) del campo para la excitación de una máquina eléctrica. La potencia de corriente directa (CD) de una fuente externa se aplica por medio de los anillos colectores en el rotor

4.2.3 Clasificación de los generadores síncronos de corriente alterna (CA)

Los generadores síncronos de corriente alterna (CA) se clasifican por:

4.2.3.1 Construcción. Según la ubicación del campo magnético, los generadores síncronos se clasifican en:

Campo en el estator. La resistencia variable nos permite hacer más o menos intenso el campo del electroimán.

Campo en el rotor. Con este tipo se consigue una mayor eficiencia, pues se necesita menor energía para hacer lo mismo que el anterior. Se puede decir que el imán es una especie de catalizador el cual permite convertir potencia mecánica en potencia eléctrica.

Según la forma del campo magnético:

Polos salientes. Existe una inclinación para la magnetización en la dirección de las expansiones polares.

Polos cilíndricos. El entrehierro es constante. Entonces el flujo es independiente de la posición.

Los rotores de los generadores se fabrican con acero magnético forjado de alta permeabilidad. Los devanados conductores se ensamblan en el rotor para producir el número deseado de polos electromagnéticos que giran con éste. El número de polos y la velocidad rotacional del rotor determinarán la frecuencia de la potencia generada de acuerdo con la siguiente relación:

$$N = 120 \frac{f}{p}$$

donde:

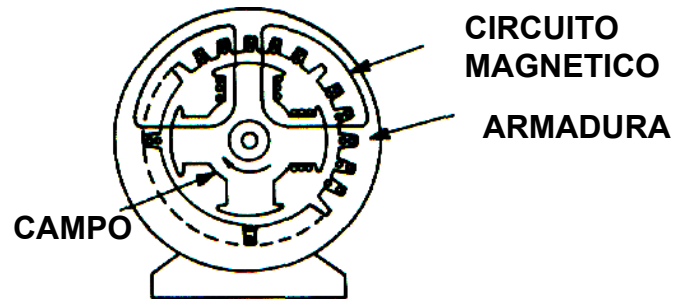
N: número de revoluciones por minuto

f: frecuencia en Hz
p: número de polos

Hay dos métodos para la fabricación de rotores.

En el generador de cuatro polos, que se muestra en la Figura 244

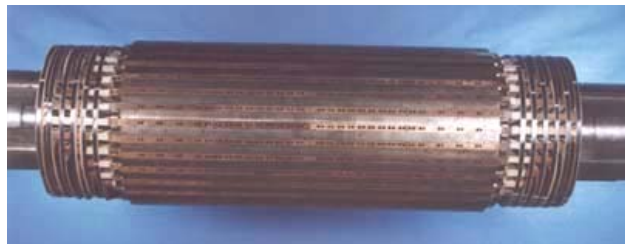
Figura 244. Generador de polos salientes



Fuente: Fotocopias, libro Sena Giron

Los polos separados y los devanados están agregados al rotor. Este tipo de construcción de polo saliente se distingue por las protuberancias de los polos sobre el árbol. Los generadores de polo saliente impulsados por turbina-motor generalmente funcionan de 900 a 1 800 rpm y están disponibles hasta 40 000 kVA. Los generadores de polo saliente de velocidad lenta (menor a 500 rpm) se emplean con turbinas hidráulicas en tamaños hasta de 800 000 kVA. La Figura 245 muestra un rotor cilíndrico integral con ranuras.

Figura 245. Rotor cilíndrico del generador



Fuente: <http://www.epri.com/journal/details.asp?id=577&doctype=projects>

Este tipo de construcción se utiliza para velocidades de 1 800 o 3 600 rpm para aplicaciones de 60 Hz. La mayor parte de los generadores impulsados por turbinas de vapor o gas en capacidades mayores de 15 000 kVA tienen generadores con rotores cilíndricos.

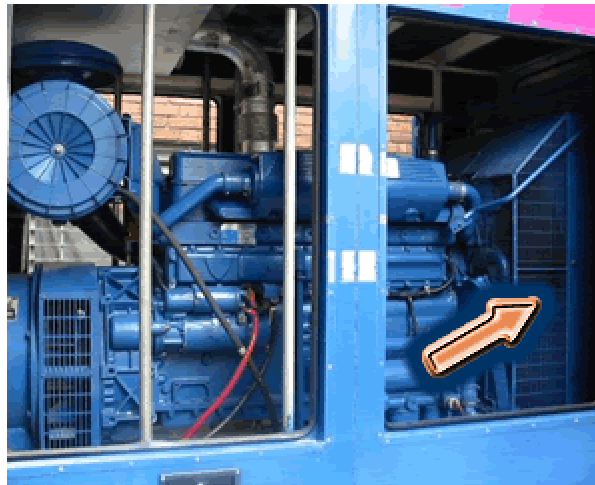
El estator del generador está formado por cuerpo, núcleo, devanado y sistema de enfriamiento. Debe ser capaz de soportar el peso estático del generador entero y asegurar el núcleo del estator contra las fuerzas torsionales debidas a la carga. El núcleo del estator está construido con laminaciones de acero silicio de grano orientado, seleccionado por su alta permeabilidad, que sostiene los devanados de cobre de armadura. Los devanados se hacen con hilados individuales aislados de cobre y se arreglan de modo que cada hilado tome una profundidad diferente en la ranura. Esto crea el mismo voltaje en cada hilado y elimina lazos de corrientes que se formarían dentro de los devanados si existieran voltajes desiguales en el hilado.

4.2.3.2 Método de enfriamiento. Debido al flujo de corriente en el campo y la armadura, se generará calor, que debe extraerse mediante un sistema de enfriamiento. Estos sistemas se pueden definir en varios modos:

1. Medio de enfriamiento. Generalmente se utiliza aire o hidrógeno.
2. Enfriamiento directo vs. indirecto. En el enfriamiento directo, el medio de enfriamiento llega en contacto directo con los devanados que se van a enfriar, en tanto que en el enfriamiento indirecto el calor debe pasar a través del aislamiento antes de alcanzar el medio de enfriamiento. La mayor parte de los generadores de menos de 250 MVA están enfriados indirectamente.

3. Autoventilación vs. ventilación separada. Las unidades autoventiladas utilizan ventiladores en el rotor del generador para que circule el medio enfriador en tanto que los generadores con ventilación separada utilizan abanicos externos. Ver Figura 246.

Figura 246. Autoventilación



Fuente: CD Análisis eléctrico mecánica UIS

4. Ventilación abierta vs. cerrada. Una unidad con ventilación abierta permite que entre el aire exterior, normalmente a través de un sistema de filtración y sale libremente del generador, mientras que en un generador con ventilación cerrada se recircula el aire en el interior de la carcasa del generador. Las unidades cerradas no permiten interfase en el medio enfriador en el aire ambiente y deben utilizar intercambiadores de calor (generalmente con agua) para extraer el calor del generador. La Figura 247 es la fotografía de un generador totalmente cerrado de enfriamiento de aire a agua con los enfriadores de agua montados en las esquinas de la carcasa del generador.

Figura 247. Fotografía de un generador totalmente cerrado con enfriamiento de aire a agua



Fuente: <http://www.guacolda.cl/central.html>

En los generadores enfriados por aire, el generador circula su propio peso en aire cada 45 minutos. En los generadores grandes, la potencia requerida para circular el aire puede alcanzar del 1 al 2% de la capacidad en kiloWatts que tiende a limitar la economía del enfriamiento del aire a capacidades de menos de 50 MVA. Por arriba de esta capacidad dominan los generadores enfriados con hidrógeno debido a la conductividad superior y a la más baja densidad de hidrógeno que hace más pequeños a estos generadores y de V4 a 1% más eficientes a plena carga que los generadores enfriados por aire, con una mejora del 2 al 3% a cargas parciales.

En tanto que el hidrógeno requiere un sistema sellado para un generador, las unidades enfriadas por hidrógeno son más eficientes que los generadores enfriados por aire. El hidrógeno con plena pureza por arriba del 75% no es combustible, de modo que puede usarse con seguridad en los niveles de pureza de 96 a 98% en los generadores actuales. Los componentes internos de las unidades enfriadas por hidrógeno también permanecen más amplios, ya que están aisladas del medio ambiente.

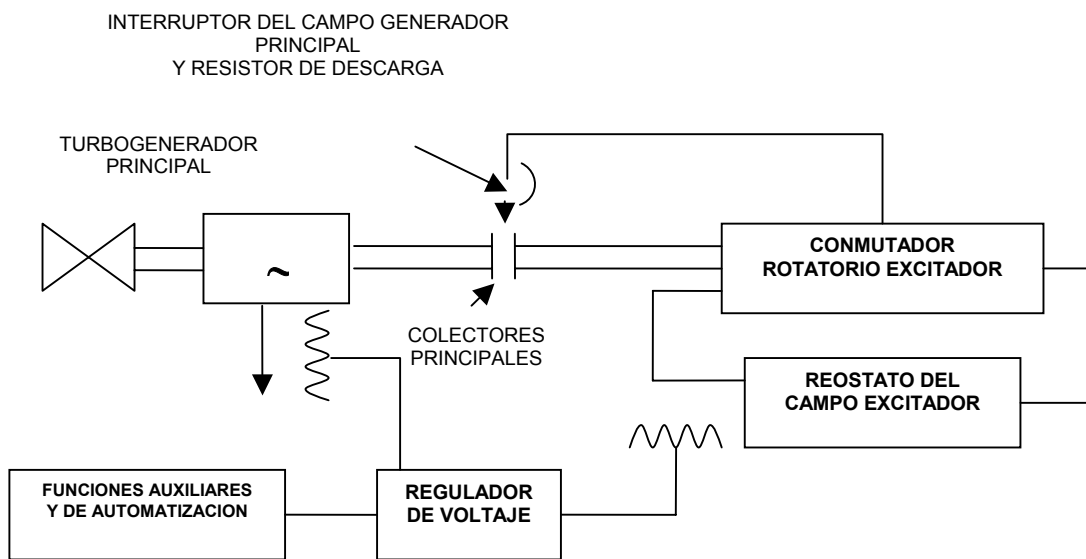
4.2.3.3 Sistema de excitación. El sistema de excitación proporciona potencia magnetizadora (cerca del 1 % de la potencia de salida del generador) para los devanados del campo rotatorio y controlan con exactitud la cantidad de potencia magnetizadora para mantener regulación cerrada del voltaje de salida del generador y del factor de potencia.

En la actualidad existen varios sistemas de excitación, que se clasifican de acuerdo con la fuente de potencia excitadora:

- ✓ Generador de corriente de excitación con conmutador
- ✓ Generador de corriente alterna y rectificadores estacionarios
- ✓ Generador de corriente alterna y rectificadores rotatorios (sin escobillas)
- ✓ Transformadores en el generador principal y rectificadores (excitación estática)

En la Figura 248 se muestra un diagrama esquemático del generador de corriente de excitación con el conmutador conectado al árbol principal.

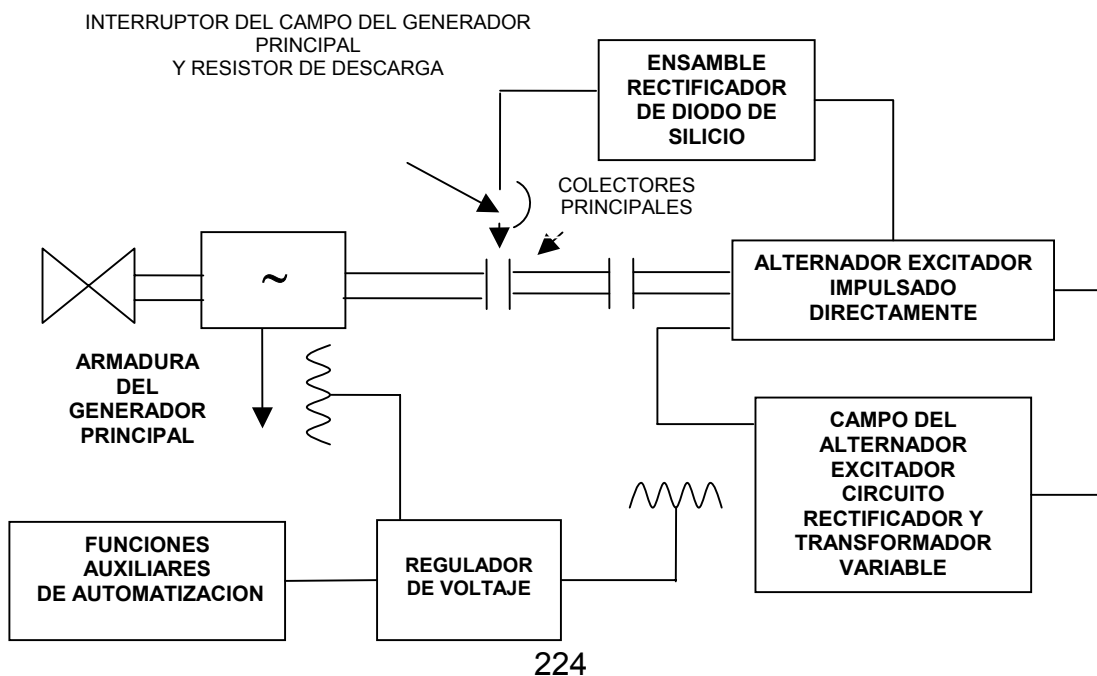
Figura 248. Sistema de conmutador de corriente de excitación



(Puede estar impulsado por motores separados o turbinas de vapor). La potencia de excitación se toma del conmutador en el rotor del generador de ce y se aplica al campo rotatorio del generador principal a través de anillos colectores. El voltaje de salida del generador principal se controla por medio de un regulador de voltaje que varía la excitación del estator del generador de ce.

Ya que los sistemas de excitación que incluyen un generador de ce del conmutador tienen un mantenimiento constantemente alto debido al conmutador y las escobillas, la invención de los rectificadores de estado sólido ha reducido el empleo de este equipo en favor de los generadores de corriente alterna a rectificadores de corriente de excitación mediante el uso de rectificadores de diodo de silicio. Hay dos métodos de activar este sistema: rectificadores estacionarios y rectificadores rotatorios. El sistema con rectificadores estacionario se muestra esquemáticamente en la Figura 249.

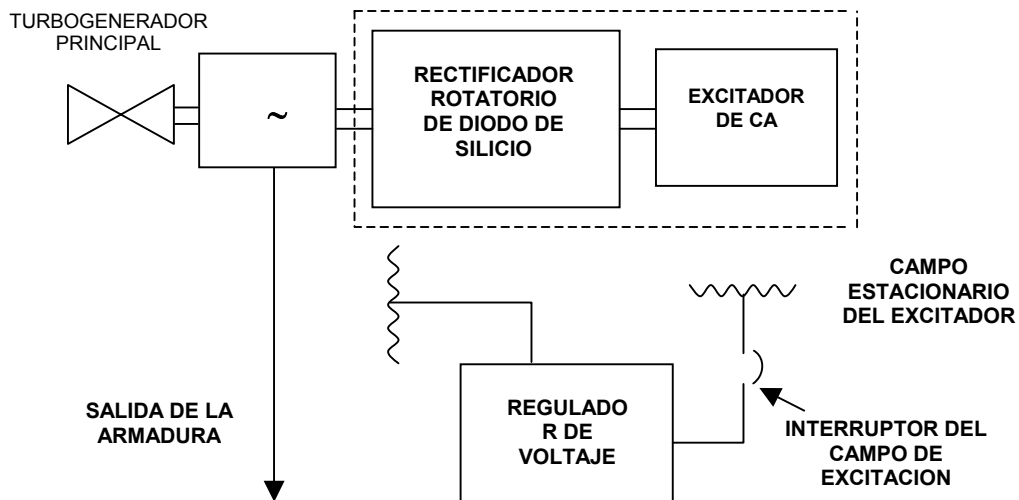
Figura 249. Generador de corriente alterna con sistema rectificador estacionario de excitación



El excitador de corriente alterna tiene un campo rotatorio, lo mismo que el generador principal. La salida del excitador se toma de los devanados estacionarios de armadura, convertida en ce por los rectificadores con diodo de silicio, y se aplica al campo rotatorio del generador principal a través de anillos colectores. El sistema de control es similar al sistema de generador de corriente de excitación, excepto que la excitación hacia el campo rotatorio excitador se transfiere por anillos colectores. Este tipo de sistema se utiliza en generadores mayores que 400 000 kVA donde la potencia de excitación puede ser tan alta como 7 000 kW.

Un sistema alternativo de excitador de corriente alterna conocido como rectificador rotatorio o sin escobillas se muestra en la figura 250.

Figura 250. Generador de corriente alterna con sistema rectificador rotatorio (sin escobillas) de excitación

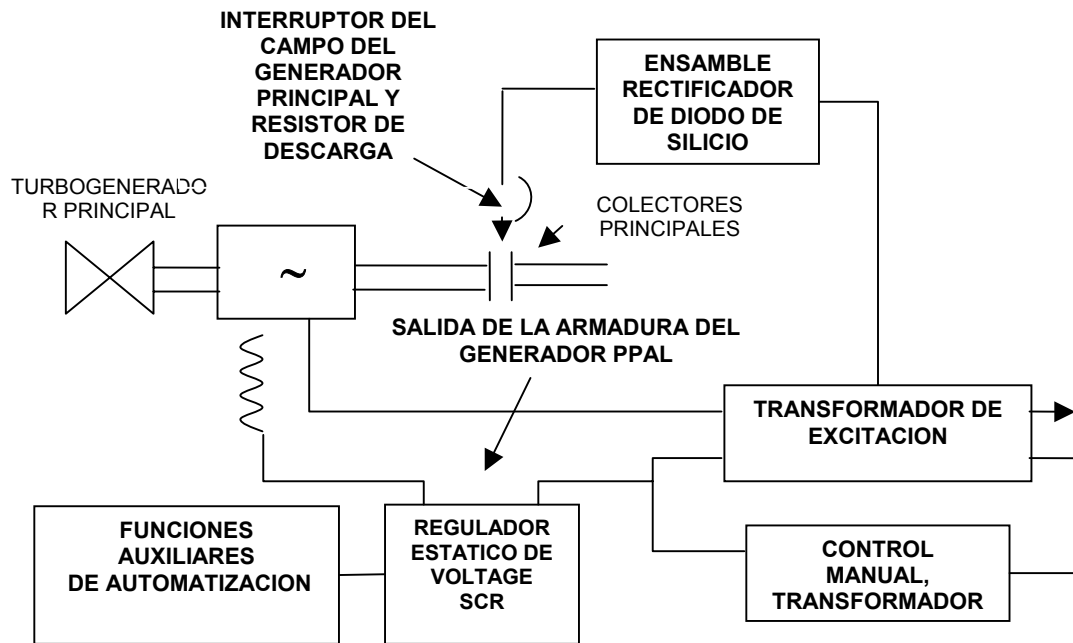


Se invierte el campo excitador y la armadura y gracias a ello se eliminan ambos juegos de anillos colectores. El voltaje de salida del generador principal se controla por medio del campo excitador en el estator. La armadura excitadora y los rectificadores de diodo de silicio están en la flecha

(árbol) principal, conectados directamente al campo del generador principal, y el control del generador se afecta a través del entrehierro del excitador variando la corriente en el campo excitador estacionario. Este sistema elimina todos los anillos colectores, y por ello recibe el nombre de excitador sin escobillas

Un sistema estático de excitación (véase la Figura 251.) elimina la necesidad de un generador separado para la excitación.

Figura 251. Sistema estático de excitación



La potencia de excitación está suministrada por las terminales del generador principal a través de los transformadores de excitación. La salida controlada de corriente alterna de los transformadores se convierte en corriente de excitación por los rectificadores de diodo de silicio y se aplica al campo del generador principal a través de anillos colectores. Cuando se comparan los sistemas de excitación cada uno tiene sus ventajas: en tanto que el sistema sin

escobillas elimina los anillos colectores, una falla del rectificador rotatorio puede causar un paro. En contraste, el sistema estático de excitación suele tener juegos paralelos de rectificadores estacionarios, de modo que puede soportarse una carga plena con un banco fuera de servicio. Sin embargo, este sistema requiere mantenimiento periódico de escobillas, que puede realizarse durante la operación.

El diseño escogido se determina por:

- ✓ El tipo de motor primario que impulsa al generador
- ✓ La potencia requerida
- ✓ El servicio de operación (operación continua versus operación intermitente, ambiente limpio versus ambiente sucio)

4.3 GENERADORES DE INDUCCIÓN

El estator de un generador de inducción es similar al de un generador síncrono. En la Figura 252 podemos ver un generador de inducción.

Figura 252. Generadores de inducción

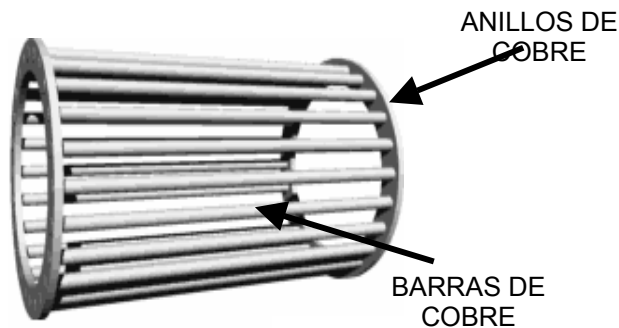


Fuente: www.firelily.com/stuff/hover/generator.room.html

El rotor difiere del rotor del generador síncrono en que no hay excitación y los conductores están en corto juntos en los extremos del rotor mediante un anillo circular. Esta disposición semeja una jaula de ardilla, es lo que da su nombre al tipo de devanado.

Este es el rotor, ver Figura 253, que hace que el generador asíncrono sea diferente del generador síncrono. El rotor consta de un cierto número de barras de cobre o de aluminio, conectadas eléctricamente por anillos de aluminio finales.

Figura 253. Rotor jaula de ardilla



Fuente: <http://www.windpower.org/es/tour/wtrb/syncgen.htm>

El generador de inducción suministra potencia real en kilowatts lo cual desplaza energía de alto costo del sistema. La potencia reactiva, kilovars, es tomada por el generador de inducción; se requiere la capacidad instalada de algún otro dispositivo en el sistema, pero sólo consume una cantidad despreciable de energía.

Una máquina de inducción opera a velocidad síncrona a carga cero. El rotor gira a la misma velocidad que el campo rotatorio del flujo en el estator, y no se cortan líneas de flujo. Cuando se aplica este par de cargas, la velocidad del rotor disminuye o "desliza" hasta que se alcanza el par completo a un desli-

zamiento del 2 al 5%. En función de generador, el impulsor debe levantar la velocidad del generador de 2 a 5% para lograr la plena salida eléctrica.

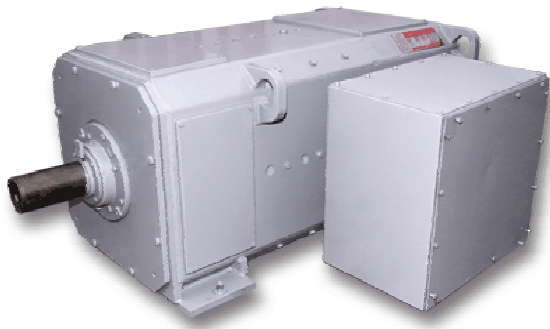
Los generadores de inducción no pueden operar independientemente en un sistema aislado. Sólo pueden funcionar en paralelo con generadores síncronos que regulan el voltaje y suministran los kilovars necesarios para sobrepasar la potencia retrasada de la generación por inducción.

Los generadores de inducción son sencillos y de costo inicial más bajo que los generadores síncronos. Se han aplicado para recuperar la energía de las corrientes de gas de desperdicio y de vapor a baja presión. En algunas aplicaciones una turbina de recuperación de energía o un dispositivo de expansión impulsa un motor generador de inducción u otra bomba o compresor en el mismo árbol. El motor generador puede suministrar o absorber el par de torsión cuando la potencia de los otros dos dispositivos esté fuera de balance.

4.4. GENERADOR DE CORRIENTE DIRECTA (CD)

Los generadores de corriente directa (CD) (ver Figura 254) son máquinas que

Figura 254. Generador de corriente directa (CD)

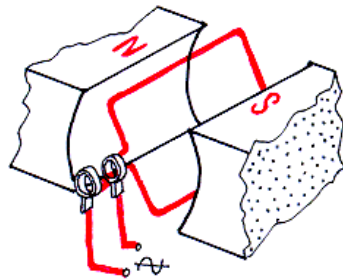


Fuente: <http://www.indiamart.com/rishabh-engg/power-generators.html>

producen tensión, su funcionamiento se reduce siempre al principio de la bobina giratoria dentro de un campo magnético.

4.4.1 Principio de funcionamiento. Si una espira gira entre dos polos magnéticos fijos, como se ve en la Figura 255, la corriente en la espira circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en el otro sentido durante la otra mitad.

Figura 255. Espira girando en un campo magnético



Fuente: <http://html.rincondelvago.com/generador-de-corriente-continua.html>

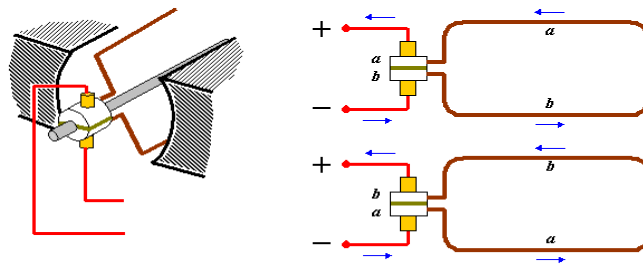
Para producir un flujo constante de corriente en un sentido, o corriente directa (CD), en un aparato determinado, es necesario disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución.

En las máquinas antiguas esta inversión se llevaba a cabo mediante un conmutador, un anillo de metal partido montado sobre el eje de una bobina. Las dos mitades del anillo se aislaban entre sí, y servían como bornes de la bobina.

Las escobillas fijas de metal o de carbón se mantenían en contacto con el conmutador, que al girar conectaba eléctricamente la bobina a los cables

externos. Cuando la bobina giraba, cada escobilla estaba en contacto de forma alternativa con las mitades del conmutador, cambiando la posición en el momento en el que la corriente invertía su sentido dentro de la bobina de la armadura. El proceso se puede observar en la Figura 256.

Figura 256. Proceso de conmutación

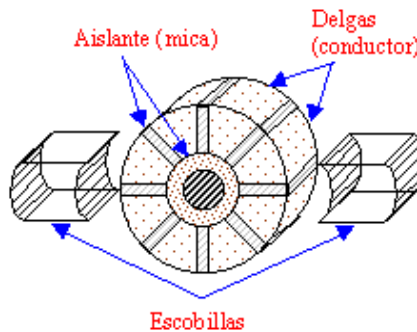


Fuente: <http://html.rincondelvago.com/generador-de-corriente-continua.html>

Así se producía un flujo de corriente de un sentido en el circuito exterior al que el generador estaba conectado.

El inducido suele tener muchas más espiras y el anillo colector está dividido en un mayor número de partes o delgas, Ver figura 257, aisladas entre sí, formando lo que se denomina el colector.

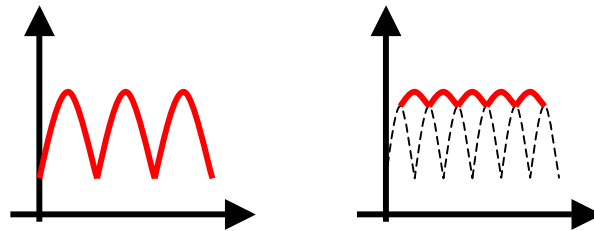
Figura 257. Anillo colector



Fuente: <http://html.rincondelvago.com/generador-de-corriente-continua.html>

Las escobillas son de grafito o carbón puro montado sobre portaescobillas que mediante un resorte aseguran un buen contacto. Al aumentar el número de delgas, la tensión obtenida tiene menor ondulación acercándose más a la tensión continua que se desea obtener. Ver Figura 258.

Figura 258. Ondulación de la tensión



Fuente: <http://html.rincondelvago.com/generador-de-corriente-continua.html>

Los generadores de corriente directa (CD) funcionan normalmente a voltajes bastante bajos para evitar las chispas que se producen entre las escobillas y el conmutador a voltajes altos. El potencial más alto desarrollado para este tipo de generadores suele ser de 1 500 voltios. En algunas máquinas más modernas esta inversión se realiza usando aparatos de potencia electrónica, como por ejemplo rectificadores de diodo.

Los generadores modernos de corriente directa (CD) utilizan armaduras de tambor, que suelen estar formadas por un gran número de bobinas agrupadas en hendiduras longitudinales dentro del núcleo de la bobina y conectadas a los segmentos adecuados de un conmutador múltiple. Si una bobina tiene un solo circuito de cable, la corriente que se produce aumentará y disminuirá dependiendo de la parte del campo magnético a través del cual se esté moviendo el circuito. Un conmutador de varios segmentos usado con una bobina de tambor conecta siempre el circuito externo a uno de cable que

se mueve a través de un área de alta intensidad del campo, y como resultado la corriente que suministran las bobinas de la armadura es prácticamente constante. Los campos de los generadores modernos se equipan con cuatro o más polos electromagnéticos que aumentan el tamaño y la resistencia del campo magnético. En algunos casos, se añaden interpolos más pequeños para compensar las distorsiones que causa el efecto magnético de la bobina en el flujo eléctrico del campo.

El campo inductor de un generador se puede obtener mediante un imán permanente (magneto) o por medio de un electroimán (dinamo). En este último caso, el electroimán se excita por una corriente independiente o por autoexcitación, es decir, la propia corriente producida en la dinamo sirve para crear el campo magnético en las bobinas del inductor. Existen tres tipos de dinamo según sea la forma en que estén acoplados el inductor y el inducido: en serie, en derivación y en combinación.

4.4.2 Partes principales

4.4.2.1 Estator. Consta de un electroimán encargado de crear el campo magnético fijo conocido con el nombre de **inductor**. Ver Figura 259.

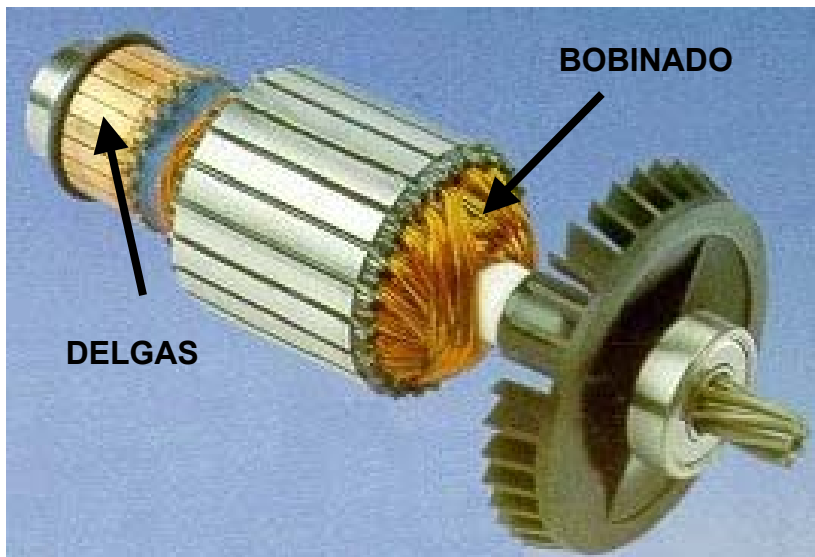
Figura 259. Estator de un generador de corriente directa (CD)



Fuente: <http://www-csd.ijs.si/applications/doptimel/doptimel.html>

4.4.2.2 Rotor. Es un cilindro donde se enrollan bobinas de cobre, que se hace girar a una cierta velocidad cortando el flujo inductor y que se conoce como **inducido**. Lo observamos en la Figura 260.

Figura 260. Rotor de un generador de corriente directa (CD)



Fuente: <http://www-csd.ijs.si/applications/doptimel/doptimel.html>

4.4.3 Clasificación de Los generadores de corriente directa (CD)

Los generadores de corriente directa (CD) se clasifican según el método que usan para proporcionar corriente de campo que excite los imanes del mismo.

4.4.3.1 Generador de excitado en serie. Tiene su campo en serie respecto a la armadura.

4.4.3.2 Generador de excitado en derivación. Tiene su campo conectado en paralelo a la armadura.

4.4.3.3 Generador de excitado combinado. Tiene parte de sus campos conectados en serie y parte en paralelo.

Los dos últimos tipos de generadores tienen la ventaja de suministrar un voltaje relativamente constante, bajo cargas eléctricas variables. El de excitado en serie se usa sobre todo para suministrar una corriente constante a voltaje variable.

4.5 ANALISIS DE PROBLEMAS DE MANTENIMIENTO DE GENERADORES ELECTRICOS

Las operaciones de mantenimiento tienen lugar frente a la constante amenaza que implica la ocurrencia de una falla o error en un sistema, maquinaria, o equipo. Existe además una necesidad de optimizar el rendimiento de las unidades y componentes industriales (mecánicos, eléctricos, y electrónicos) de los procesos dentro de las instalaciones de una planta industrial. El objetivo buscado por el mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para asegurar una disponibilidad total del sistema en todo su rango de funcionamiento, lo cual está basado en la carencia de errores y fallas.

El mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las mejores condiciones técnicas, sin importar las condiciones externas (ruido, polvo, humedad y calor) del ambiente al cual está sometido el sistema. El mantenimiento además debe estar destinado a:

- ✓ Optimizar la producción del sistema
- ✓ Reducir los costos por averías

- ✓ Disminuir el gasto por nuevos equipos
- ✓ Maximizar la vida útil de los equipos

Los procedimientos de mantenimiento deben evitar las fallas, por cuanto una falla se define como la incapacidad para desarrollar un trabajo en forma adecuada o simplemente no desarrollarlo. Un equipo puede estar "fallando" pero no estar malogrado, puesto que sigue realizando sus tareas productivas, pero no las realiza con la misma funcionalidad que un equipo en óptimas condiciones. En cambio un equipo malogrado o averiado no podrá desarrollar faenas bajo ninguna circunstancia.

Además el costo que implica la gestión y el desarrollo del mantenimiento no debe ser exagerada, más bien debe estar acorde con los objetivos propios el mantenimiento, pero sin denotar por ejemplo, un costo superior al que implicaría el reemplazo por maquinaria nueva. Entre los factores de costo tendríamos: mano de obra, costo de materiales, repuestos, piezas nuevas, energía, combustibles, pérdidas por la no producción.

En un mantenimiento de generadores, se debe inspeccionar periódicamente los niveles de aislamiento, elevación de temperatura (bobinados y descansos), desgastes, lubricación de los rodamientos, vida útil de los descansos, eventuales exámenes en el ventilador cuanto al correcto flujo de aire y niveles de vibración.

Los siguientes procedimientos de mantenimiento deberán ser seguidos para asegurar el buen desempeño del equipo y aumento de su vida útil. La frecuencia de las inspecciones dependerá esencialmente de las condiciones locales de aplicación y de régimen de trabajo.

4.5.1 Problemas mecánicos

4.5.1.1 Desbalance. El desbalance es tal vez la causa más común de las vibraciones, la vibración causada por el desbalance es de una frecuencia equivalente a $1 \times \text{rpm}$ de la parte desbalanceada, en tanto que la magnitud de la vibración es directamente proporcional a la cantidad de desbalance existente.

Generalmente, la mayor amplitud de vibración se registra en el sentido radial (horizontal o vertical) pero puede ocurrir que la máxima amplitud se produzca en el sentido axial, siendo las amplitudes radiales también elevadas.

4.5.1.2 Desalineamiento, ejes pandeados. Es un problema tan común como el desbalance. El pandeo de un eje produce efectos semejantes a los del desalineamiento angular. En la Figura 261 vemos el acoplamiento de los ejes del motor/generador.

Figura 261. Acoplamiento Motor/Generador



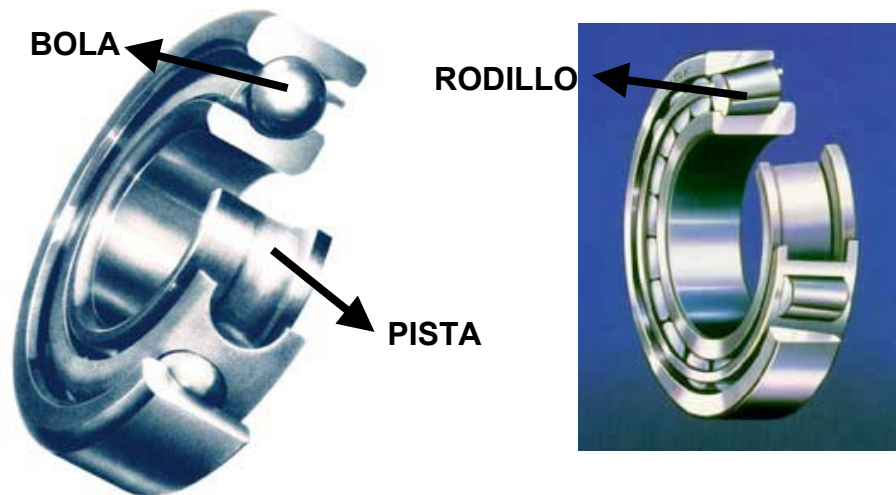
Fuente: www.rrm.spear.navy.mil/ready_resources_material/images/pera21.jpg

Existen 3 tipos posibles de desalineamiento de los acoplamientos:

- ✓ Desalineamiento angular, donde las líneas de centros de los ejes se interceptan formando un ángulo
- ✓ Desalineamiento radial, ocurre cuando las líneas de centros de los ejes son paralelos entre sí, pero se hallan descentrados
- ✓ Desalineamiento combinado, cuando se presentan las 2 cosas conjuntamente anteriores descritas

4.5.1.3 Rodamientos defectuosos. Los rodamientos (cojinetes antifricción) con defectos en las pistas o elementos rodantes (bolas o rodillos, ver Figura 262) normalmente ocasionan vibraciones de alta frecuencia, cosa que suele

Figura 262. Rodamientos de Esferas y Rodillos



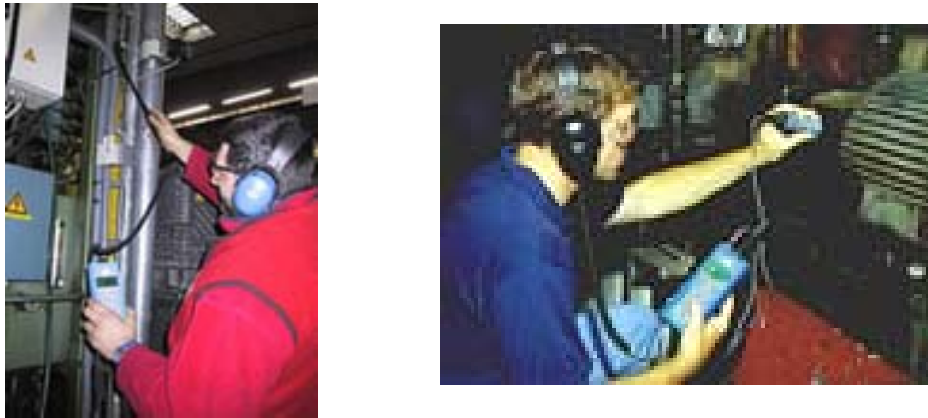
Fuente: <http://www.la.nsk.com>

producirse a velocidades varias veces superiores a la velocidad rotatoria del eje que soportan. Generalmente, estas frecuencias se hallan entre 20 y 50

MHz. Para detectar rodamientos defectuosos podemos hacer Ensayo Ultrasónico, el cual detecta y mide los niveles de sonido y señales acústicas. Ver Figura 263. El ruido en los generadores deberá ser observado en períodos regulares de 1 a 4 meses. Si se encuentra defectos se procede al cambio del rodamiento.

Algunas herramientas usadas para su detección son: Explorador ultrasónico, transmisor ultrasónico, auricular acústico, registradores.

Figura 263. Medición de niveles de sonido



Fuente: www.inseprod.com.ar/controles.htm

Cambio de rodamientos. No se debe sacar un rodamiento del eje caso no sea imprescindible. Primeramente sacar los anillos de fijación externos de los rodamientos y sacar las tapas. El rotor completo debe ser sacado desde el estator hacia el lado del accionamiento con cuidado.

Con la finalidad de evitar daños a los núcleos, será necesario después de la retirada de la tapa del descanso, calzar el rotor en el entrehierro con cartón de espesura correspondiente.

El desmontaje de los rodamientos no es difícil desde que sean utilizadas herramientas adecuadas (extractor de rodamientos con 3 garras ver Figura264.)

Figura 264. Extractor de rodamientos



Fuente: [http://www.skf.com.co/extrac1.htm#\(3\)](http://www.skf.com.co/extrac1.htm#(3))

Las garras del extractor deberán ser aplicadas sobre la faceta lateral del anillo a ser desmontado, o sobre una pieza adyacente.

Antes del montaje de los nuevos rodamientos (según especificado), los asientos del eje deben ser limpiados y ligeramente lubricados.

El rodamiento que será montado debe ser calentado anticipadamente (+_ 80°C), atentándose para que los mismos sean fijados de manera perfectamente centrada con relación al eje. (Calentamiento inductivo), a partir de la dilatación del anillo interno, se facilita el montaje. El apoyo para prensar el rodamiento debe ser aplicado sobre el anillo interno.

Es esencial que el montaje de los rodamientos sea efectuado en condiciones de rigurosa limpieza y por personal competente, para asegurar un buen funcionamiento y evitar daños.

Rodamientos nuevos solamente deberán ser sacados del involucro, en el momento de ser montados. Antes de la colocación del rodamiento nuevo, será necesario corregir cualquier señal de rebarba o golpes en el asiento del rodamiento en el eje.

Los rodamientos no pueden recibir golpes ni almacenajes deficientes donde estén sujetos a humedad y vibraciones, pues pueden surgir marcas en las pistas causando ruidos en funcionamiento y desgaste rápido de los rodamientos.

Por cuestiones de seguridad, el cambio de rodamientos debe ser efectuado con el generador desacoplado de la máquina propulsora.

Para generadores con doble descanso, es necesario desmontar el generador por completo.

4.5.1.4 Cojinetes en planos defectuosos. Los problemas que se encuentran con los cojinetes planos y que producen niveles de vibración elevados, por lo general están asociados con juegos excesivos en los cojinetes, producido por desgaste o por problemas de lubricación.

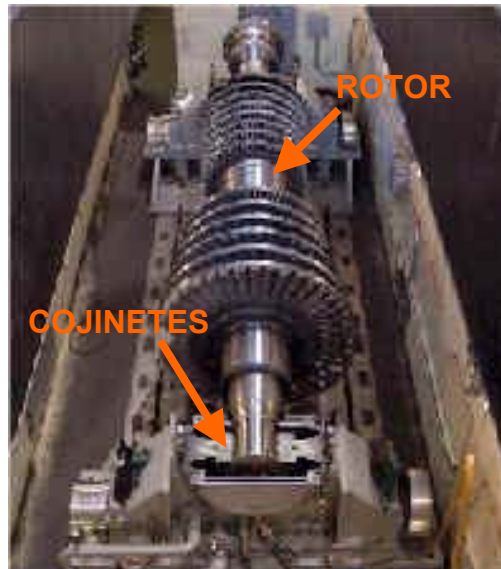
Un cojinete plano con juego excesivo puede permitir un desbalance o desalineamiento relativamente pequeños, u otra fuerza vibratoria, origina golpeteos y desajustes mecánicos. Cuando se sospeche de daños en cojinetes planos, lo más práctico es efectuar una inspección a los mismos.

4.5.1.5 Solturas mecánicas. La vibración característica de la soldadura mecánica se produce cuando existe una fuerza perturbadora como un desbalance o un desalineamiento.

4.5.1.6 Excentricidad. La excentricidad es otra cosa que comúnmente da origen a la vibración en la maquinaria. No se entiende en este caso por excentricidad una condición por redondez defectuosa sino mas bien el estado que se da cuando la línea central (rotacional) de un eje no es idéntico a la línea central (geométrica) del rotor.

Es por eso que se recomienda equilibrar un rotor sobre sus propios cojinetes. Ver Figura 265.

Figura 265. Balanceo de rotor



Fuente: www.gmsinternational.com/rotor.html

4.5.1.7 Cojinetes antifricción defectuosos. Los cojinetes antifricción defectuosos de pista, bola o rodillo, ver Figura 266, normalmente ocasionan una vibración de alta frecuencia, cosa que suele producirse a una

Figura 266. Cojinete Antifricción



Fuente: <http://www.skf.com.co>

velocidad varias veces la velocidad rotatoria. Podemos detectar defectos en los cojinetes por un Análisis Acústico. Mide los sonidos normalmente inaudibles para el oído humano, con el objeto de detectar deterioros en los cojinetes y problemas similares. Es también apropiado para medir los niveles de sonido de los equipos, líneas de proceso de la planta en general.

Algunas herramientas usadas para su detección son: Micrófono, por anafono, analizador de frecuencias, medidores de nivel de sonido. Ver Figura 267.

Figura 267. Medidor de nivel de sonido



Fuente: <http://www.cesva.com/web/prod/dc-11.html?lang=fra>

4.5.1.8 Cojinete de fricción defectuosa. Los problemas que se presentan en los cojinetes de fricción y que producen niveles de vibración o ruidos elevados, por lo general son el resultado del juego excesivo de los cojinetes o problemas de lubricación.

Lubricación. Las propiedades de los lubricantes se deterioran en virtud del desgaste y trabajo mecánico, y además de eso, todos los lubricantes sufren contaminación en servicio, razón por el cual deben ser completados o cambiados de tiempos en tiempos.

Los rodamientos deben ser lubricados para evitar el contacto metálico entre los cuerpos rodantes y también para proteger los mismos contra corrosión y desgaste.

El periodo de relubricación depende del tamaño del generador, de la velocidad de rotación, de las condiciones de servicio, del tipo de grasa utilizado y de la temperatura de trabajo. El periodo de lubricación y el tipo de los rodamientos para cada generador están grabados en la placa de identificación fijada en el generador.

Existen generadores que poseen rodamientos blindados, y con eso no se hace necesaria la relubricación de los mismos. Al final de la vida útil del lubricante, el rodamiento debe ser cambiado.

Para los generadores con rodamientos que permiten relubricación, es necesario seguir rigurosamente las instrucciones cuanto la relubricación (periodicidad, cantidad y tipo de grasa)

Es importante que se haga una lubricación correcta, o sea, aplicar grasa correcta y en cantidad adecuada, pues tanto una lubricación deficiente cuanto una lubricación excesiva, traen efectos perjudiciales.

La lubricación en exceso provoca elevación de temperatura, debido a la gran resistencia que ofrece al movimiento de las partes rotativas, y principalmente debido al batimiento de la grasa, la cual acaba por perder completamente sus características de lubricación.

Eso puede provocar vaciamiento, con penetración de la grasa para el interior del generador, depositándose sobre las bobinas, rotor y estator.

Para la lubricación de los rodamientos en máquinas eléctricas, viene siendo empleado de modo generalizado, grasas a base de litio y bisulfeto de molibdeno, por presentaren buena estabilidad mecánica, insolubilidad en agua y punto de goteo próximo a los 200°C.

Esas grasas nunca deberán ser mezcladas con otras que tengan base de sodio o calcio.

Instrucciones para la lubricación. Todos los generadores de alta/baja tensión poseen graseras para la lubricación de los rodamientos. El sistema de lubricación fue proyectado para que en la relubricación de los rodamientos, toda la grasa sea removida de las pistas de los rodamientos y expelidas a través de un drenó el cual permita la salida e impide la entrada de polvo u otros contaminantes nocivos al rodamiento.

Este drenaje también evita que los rodamientos se dañen por el conocido problema de relubricación excesiva. Ver Figura 268.

Figura 268. Dreno del rodamiento



Se aconseja hacer la relubricación durante el funcionamiento del generador, de modo a permitir la renovación de la grasa en el alojamiento del rodamiento.

Si eso no fuere posible debido a la presencia de piezas rodantes cerca de las engrasadoras (poleas, etc.), las cuales pueden poner en riesgo la integridad física del operador, se procede de la siguiente forma:

Se inyecta aproximadamente mitad de la cantidad total estimada de la grasa y se pone el generador en marcha durante aproximadamente 1 minuto en plena rotación; se desliga el generador y se inyecta el restante de la grasa.

La inyección de toda la grasa con el generador parado puede llevar la penetración de parte del lubricante en el interior del generador, a través de la veda interna de la caja del rodamiento.

OBS. Es importante mantener las graseras limpias antes de la introducción de grasa, para se evitar la entrada de materiales extraños en el rodamiento.

Para lubricación utilice exclusivamente pistola engrasadora manual.

NOTA: La vida útil estimada para los rodamientos es de 20 000 horas.

En la Figura 269 se ve un cojinete con falta de lubricación.

Figura 269. Cojinete Falta De Lubricación



Esta falla se detecta mediante un análisis acústico. En la Figura 269 vemos un cojinete de fricción en buen estado.

Figura 270. Cojitene de fricción



Fuente: <http://www.polimerosindustriales.cl/teflon.htm>

4.5.1.9 Defectos de engranajes. Es fácil identificar la ubicación de la falla provocada por los engranajes ya que normalmente ocurre una frecuencia igual al mínimo de dientes del engranaje multiplicando por las rpm del mismo.

Figura 271. Engranajes



Fuente: <http://www.tec.uji.es/d/IngMecDoc/Mecanismos/Engranajes/EngrCilindr.html>

4.5.1.10 Vibración excesiva. Si detectamos que una maquina vibra y analizamos que es lo que las hace vibrar, seguramente encontraremos entre tantos otros fenómenos culpables, las siguientes causas:

- ✓ Falta de rigidez
- ✓ Fallas de lubricación
- ✓ Desalineación ejes
- ✓ Desbalanceos
- ✓ Señales eléctricas
- ✓ Elementos sueltos

Si queremos corregir los problemas de vibración, debemos eliminar la fuerza que lo genera o la movilidad que lo permite, por ejemplo procediendo al ajuste de anclajes flojos, bases frágiles, desbalanceos de rotores, desalineaciones, acoples deteriorados, elementos que están dentro de las causas mas comunes y fácilmente corregibles. Nivel de vibración máximo para el generador en carga: 20mm/rms. Además podemos hacer un análisis de vibraciones con el objeto de detectar un exceso de vibración que pueda provocar averías en los equipos o en sus componentes. El análisis de las tendencias se emplea para predecir fallas.

Algunas herramientas usadas para su detección son: Transductores, Acelerómetro, detector de impulsos, sondas ultrasónicas medidores de vibraciones, detector de vibraciones, conjuntos equilibradores, recopilador portátil de datos. En la Figura 272 observamos analizadores de vibraciones

Figura 272. Analizadores de vibraciones



Fuente: www.hanmicorp.net/MFG/Metrix/Vibrometer.htm

4.5.2 Problemas eléctricos

La vibración ocasionada por los problemas eléctricos, normalmente se debe a la fuerza magnética desigual, puede ser que obedezcan a lo siguiente:

- ✓ Que el generador no es redondo
- ✓ Muñones de armadura excéntricos
- ✓ Desalineación del rotor
- ✓ Barra rota
- ✓ Devanados abiertos o en corto circuito

Por lo general en dichos problemas la frecuencia de vibración es $1 \times \text{rpm}$, una forma de saber si la vibración es eléctrica, es observar el cambio en la amplitud de la vibración en el momento mismo de desconectar la alimentación.

En el generador Síncrono, la frecuencia sincronía siempre será igual a la frecuencia de la línea de corriente alterna (CA) de la carga. A pesar de esto las rpm del rotor resultaría ligeramente menor debido a la carga. Por lo tanto, si existiesen problemas mecánicos como el desequilibrio, se presentarían dos frecuencias vibracionales distintas. Como estas dos frecuencias vibracionales se encuentran relativamente cercanos unos a otros, las amplitudes se sumarían y luego se restarían alternativamente a razón igual a la diferencia que exista entre sus frecuencias correspondientes. Este tiene por resultado un notable latido uniforme mecedor además del movimiento mecedor del medidor de amplitud.

Si resulta excesiva dicha amplitud vibradora, se deberá hacer la corrección correspondiente para reducir el efecto hecho por el efecto eléctrico o mecánico.

La frecuencia de vibración que ocasionan las pulsaciones por torsión será dos veces la frecuencia de la línea corriente alterna (CA) que actúa el generador. Rara vez resulta molesto una vibración así, a menos que se requieran unos niveles de vibración extremadamente reducidos o si por casualidad las pulsaciones por torsión excitaran una condición de resonancia, es cosa que también podrá producir ruidos excesivos.

4.5.2.1 Resonancia. Hay varios modos de confirmar si vibra en resonancia o no una pieza. Una manera es por la prueba de golpe. Parada la maquina, se tiene que dar un golpe a la maquina o estructura con fuerza suficiente para que vibre. Cualquier objeto produce una vibración libre a su frecuencia natural, al ser golpeado, la frecuencia de vibración libre que se genera de esta forma aparecerá, indicada en el frecuencímetro del analizador.

El filtro del analizador en cuestión debe hallarse en la posición de filtro OUT. para poder realizar dicho ensayo. Si disminuye muy rápido la vibración, puede ser necesario darle golpes sucesivos para prolongar la vibración libre lo suficiente como para registrar la lectura en el frecuencímetro. El aparato IRD analizador de espectro en circuito a tiempo real es ideal para determinar así las frecuencias naturales. Claro que si las frecuencias naturales que se observaron por el resultado del ensayo por golpes fuesen las mismas como las fuerzas excitadoras notadas al tener trabajando la maquina, es que existe una condición resonante.

Otro método que hay que diagnosticar condiciones resonantes es de grabar la amplitud y fase vibracionales frente a la velocidad rotativa de la maquina, normalmente se hace con los instrumentos como el IRD modelo 360, con filtro de seguimiento. Pero se puede producir un trazado semejante haciendo funcionar la maquina a varias velocidades distintas, trazando la amplitud y fase de vibración para cada velocidad. Si existiesen condiciones de resonancia quedaran claramente identificadas por la vibración característica que se presenta y también por un desplazamiento de 180.

Si se encuentra un problema de resonancia existen varios métodos de corregirlos, siendo uno el cambio de la frecuencia excitadora para que deje de coincidir con la frecuencia natural de la maquina. Esto se puede realizar ordinariamente aumentando o disminuyendo las rpm de la maquina. Si en cambio no se puede variar la frecuencia excitadora, se puede aun corregir el problema cambiando la frecuencia natural de un objeto, su tiesura y peso. Así es que se puede aumentar o disminuir la frecuencia natural o aumentando o reduciendo la tiesura o masa del objeto en cuestión.

Claro que se podría evitar la resonancia eliminando la fuerza excitadora. El equilibrado por ejemplo, hasta niveles más bajos de los normales servirá a veces para reducir los efectos de la resonancia. Sin embargo, en muchos casos al tratar de eliminar la fuerza excitadora por equilibrado y alineación resultara difícil. La mejor solución en el caso de un problema de resonancia es de separar las frecuencias naturales de las excitadoras.

4.5.2.2 Problemas en los devanados. Una vez comprobado a través de pruebas si un generador presenta fallas como; contacto a tierra, circuito

abierto, cortocircuitos ó inversión de polaridad; se determina que debe ser rebobinado. Ver Figura 273.

Figura 273. Problemas en los devanados

(a) Contacto a tierra.



(b) Cortocircuito.



Fuente: <http://www.eletromotoresgoias.com.br/danos.html>

Algunas herramientas usadas para su detección son: Prueba de megger, analizador de bobinado, medidor de sobretensión, osciloscopio. En la Figura 274 vemos unas de estas herramientas.

Figura 274. Herramientas de medición

(a) Osciloscopio



(b) Megger.



Fuente: www.orbelec.es/images/instru_oscil.html
www.kaizer.com.tw/product/yokogawa_mcc/megger

Solución al problema:

Rebobinado del generador de corriente alterna (CA). La máquina es llevada al área de trabajo a fin de realizarle las siguientes operaciones:

- a) Toma de datos
- b) Extracción de los arrollamientos
- c) Aislamiento de las ranuras
- d) Confección de las bobinas
- e) Colocación de las bobinas en las ranuras
- f) Conexión de las bobinas entre sí
- g) Verificación eléctrica del nuevo arrollado
- h) Secado e impregnación.

a) Toma de datos: Consiste en anotar cuidadosamente los datos esenciales del generador con el fin de no tener inconvenientes a la hora de rebobinar; la información que debe reunirse es la siguiente:

1. Datos de la placa. Característica del generador se deben tomar datos tales como: número y serial del mismo, potencia eléctrica en (kW, Hp ó Cv), frecuencia eléctrica expresada en Hertz (Hz), tensión y corriente nominal, factor de potencia y de servicio, clase térmica máxima permisible, velocidad (rpm), etc.

Luego de anotar los datos de placa se procede a desarmar el generador, revisando tapas y rodamiento para verificar si están en buen estado ó no. Después de que el estator y rotor son separados, se procede a llevar el estator al área de trabajo para seguir recopilando información acerca del mismo.

2. Número de ranuras estatóricas. Consiste en contar y anotar el número de ranuras (k) que tiene el estator, que pueden ser útil para la realización de un cálculo que permita conocer un dato requerido. Ver Figura 275.

Figura 275. Conteo de ranuras estatóricas



3. Número de bobinas del estator. Se refiere al número total de bobinas que componen el bobinado del estator, en la Figura 276 vemos el bobinado del estator, y sirven de referencia para que el nuevo bobinado contenga exactamente las mismas bobinas que tenía originalmente; esto sin se han cambiado intencionalmente sus características originales.

Figura 276. Bobinado del estator



Fuente: http://www.dadao-group.com/html/autoparts/auto_cs.htm

4. Conexión de las bobinas. Es necesario conocer el tipo de conexión que tiene el bobinado, para que una vez reparado se haga dicha conexión, a menos que el cliente quiera que se le realice otra diferente. En la Figura 277 observamos la revisión de conexiones del bobinado.

Figura 277. Revisión de conexiones del bobinado



Fuente: <http://mpsinc.net/generator.htm>

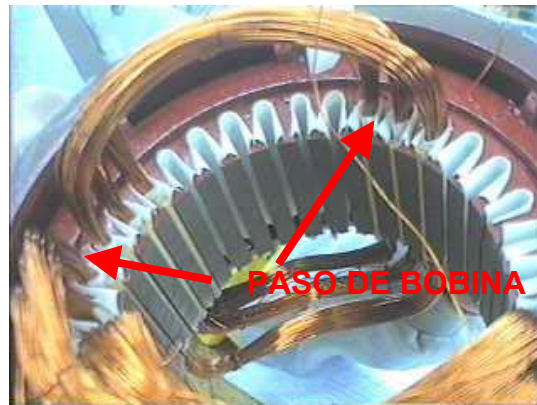
5. Número de espiras. Esto se refiere al número de vueltas de alambre conductor que forman cada bobina, ver Figura 278; si no se desean cambiar características al generador tales como; tensión, frecuencia el número de espiras debe permanecer constante en el nuevo arrollado.

Figura 278. Espiras de una bobina



6. Paso de bobina. Es el número de ranuras que abarca cada bobina ver Figura 279, y para el número de polos del generador sea el mismo del bobinado original, no debe modificarse dicho paso en el nuevo arrollado.

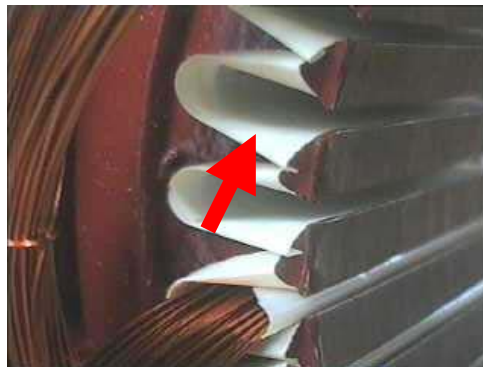
Figura 279. Paso de bobina



Fuente: www.emabobinados.com

7. Clase de aislamiento. Es necesario conocer el tipo de aislamiento que deben llenar las ranuras del estator de acuerdo a la capacidad de la máquina y a la tensión aplicada a ésta; para así evitar colocar una clase de aislamiento no adecuado a las condición antes mencionadas, que pueden ocasionar la existencia de un contacto a masa. En la Figura 280 se ven las ranuras aisladas.

Figura 280. Aislamiento en las ranuras del estator



Fuente: www.emabobinados.com

8. Calibre del conductor. Es la sección en mm^2 que posee el conductor empleado para la confección de las bobinas, ver Figura 281; el calibre del conductor empleado para el nuevo arrollado debe ser igual al del arrollado original. Puede ser un solo hilo que constituya la sección del conductor necesario o varios hilos en paralelo, donde el total de las secciones sea igual a la sección necesaria a utilizar.

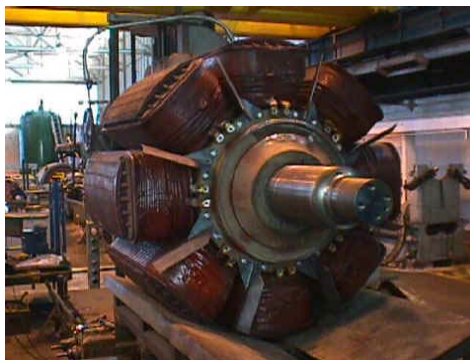
Figura 281. Conductor empleado en la bobina



Fuente: www.emabobinados.com

9. Número de polos. Es necesario conocer el número de polos de la máquina, ver Figura 282, para saber las rpm que puede desarrollar; dependiendo dichos polos del paso de bobina y del número de ranuras del estator.

Figura 282. Reconocimiento de los polos del generador



Fuente: www.joliet-equipment.com/Brushless_AC_Generator_Repairs_files

10. Dimensiones del estator. Son necesarios en el caso de que se vaya a calcular algunas de las características de una máquina que se desea rebobinar. Ver Figura 283.

Figura 283. Estator



Fuente: www.joliet-equipment.com/Brushless_AC_Generator_Repairs_files

En una forma paralela al rebobinado de estator y rotor, se realiza el rebobinado a la excitatriz ó campo de excitación, Ver Figura 284.

Figura 284. Excitatriz ó campo de excitación del generador



Fuente: www.joliet-equipment.com/Brushless_AC_Generator_Repairs_files

Rebobinado del generador de corriente directa (CD). Al generador de corriente directa (CD), también se le realizan una serie de pruebas de recepción y al comprobarse que debe ser rebobinado se desarman y se dividen en dos partes que son: núcleos y campos. Los núcleos se sacan del estator separando las bobinas, luego se le toman sus datos característicos tales como; número de vueltas (espiras) y calibre del alambre conductor. Los núcleos son enderezados para luego aislarlos apropiadamente y colocar las bobinas fijándolas nuevamente al estator.

Paralelo a este proceso los campos del estator se pican para tomarle los datos característicos; el estator se limpia y se ducha con champú desengrasante, ver Figura 285, luego se seca con aire comprimido para pintarlo internamente y al secar la pintura es llevado para aislar y rebobinar los campos.

Figura 285. Mantenimiento en el estator



Fuente: www.joliet-equipment.com/Brushless_AC_Generator_Repairs_files

Una vez rebobinados los campos y núcleos, se conectan entre si para realizar las pruebas al estator y verificar que cumple los requisitos de calidad sugeridos; estas pruebas que se realizan son de polaridad, sentido de giro, pruebas de campo y ligamiento. Después de aprobado estos requisitos el estator se barniza y se mete al horno por espacio de dos horas para secar el barniz.

Al igual que en el generador de corriente alterna (C.A.), al rotor o inducido de corriente directa también se le practican pruebas, ver Figura 286, de diferentes índoles y al comprobar que se debe rebobinar, se elabora

Figura 286. Mantenimiento en el rotor



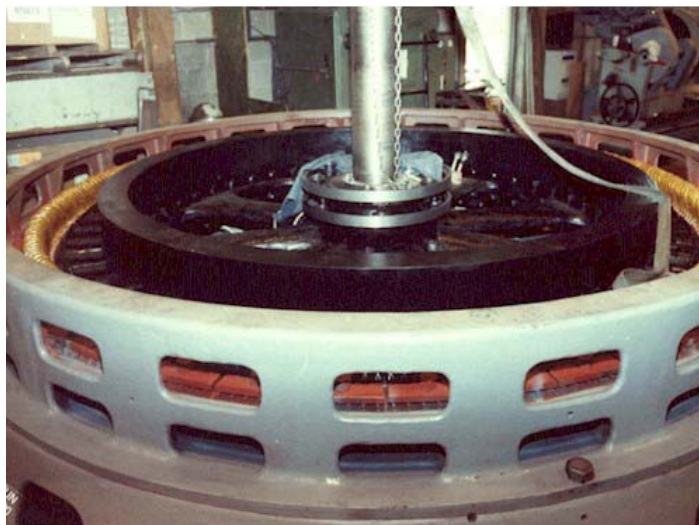
Fuente: <http://www.jenkins.com>

el diagrama de conexión, se extrae el alambre tomándole las características necesarias para bobinar nuevamente, luego es duchado con champú desengrasante llevándolo al horno para su secado; luego se pinta y seca con aire comprimido y al compactar bien la pintura se aíslan sus ranuras

adecuadamente y se rebobina. Luego se manda a balancear y rectificar, para luego realizar las pruebas a tierra y ligamento; superada las pruebas pasa al barnizado y después al horno para secar el barniz.

Para finalizar el proceso se cambian rodamientos, si están defectuosos, se arma el generador, ver Figura 287 y se realizan las pruebas en vacío comprobando su óptimo funcionamiento, después se pinta y se deja secar esperando por su salida.

Figura 287. Generador armado para pruebas



Fuente: www.joliet-equipment.com/Brushless_AC_Generator_Repairs_files

En una forma paralela al rebobinado de estator y rotor, se realiza el rebobinado a la excitatriz ó campo de excitación.

Semejante a los otros procesos el bobinado de la excitatriz se prueba y al comprobar que es necesario rebobinar, se sacan los arrollados tomándole todos sus datos característicos; luego se limpia y se ducha para meter el núcleo al horno para su secado, después se lleva al área de trabajo, se aíslan

ranuras y se procede a arrollar el alambre que constituirá el campo de excitación.

Luego se le realizan las pruebas a la excitatriz, se barniza y se introduce al horno, después de cierto tiempo se saca y se lleva a la mesa de trabajo, realizándose las conexiones entre el estator, rotor y excitatriz; para luego armar la máquina y con ayuda de un motor y por medio de correas realizar las pruebas correspondientes, que permitan comprobar su buen estado de funcionamiento.

Una vez superadas las pruebas aplicadas, la máquina es llevada al área de trabajo para pintarla y trasladarla al almacén, esperando que seque la pintura para su salida. Ver Figura 288.

Figura 288. Generador ensamblado



Fuente: www.joliet-equipment.com/Brushless_AC_Generator_Repairs_files

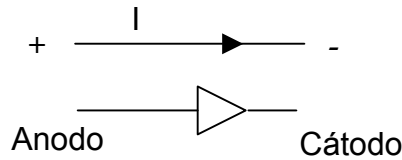
4.5.2.3 El generador no excita. Posibles Causas:

- ✓ **Interrupción en el circuito del bobinado auxiliar.** Causado por corrientes parásitas. Se debe Verificar la conexión de los cables del bobinado auxiliar en el tablero de conexión prosiguiendo hasta el tablero de conexión del regulador y fusible.
- ✓ **Fusible quemado.** La causa de este problema es una sobrecorriente. Se debe efectuar un cambio del fusible auxiliar.
- ✓ **Tensión residual baja.** Se debe a un cambio de rotación o a una disminución de la velocidad. Hacer excitación externa con batería de 12A 20Vcc hasta el inicio del proceso de excitación. Hacer revisión del Polo negativo en F- y polo positivo en F+; Siempre desconectar los cables del regulador bajo penalidad del daño.
- ✓ **Velocidad De accionamiento no esta correcta.** Medir las rotaciones. Hacer eventualmente, nueva reglaje.
- ✓ **Interrupción en el circuito de excitación principal.** Una degeneración en los cables es la causante de este problema. Verificar continuidad de los cables F+ y F-; Hacer mediciones en todos los diodos giratorios; Cambiar los diodos con defecto o cambiar el conjunto.

Cambio de diodos. En el caso de ocurrir la quema de un diodo giratorio, se hace necesario también, verificar las condiciones de los demás. Cuando hay daño en un diodo, es imposible determinar el estado de los demás diodos, aunque la prueba indique buen estado. Debido a eso y debido el conjunto de diodos hacer parte del circuito de excitación de la máquina sincrónica, recomendase el cambio de todos los diodos, reduciéndose así el riesgo de nuevas paradas motivadas por daños de los demás diodos.

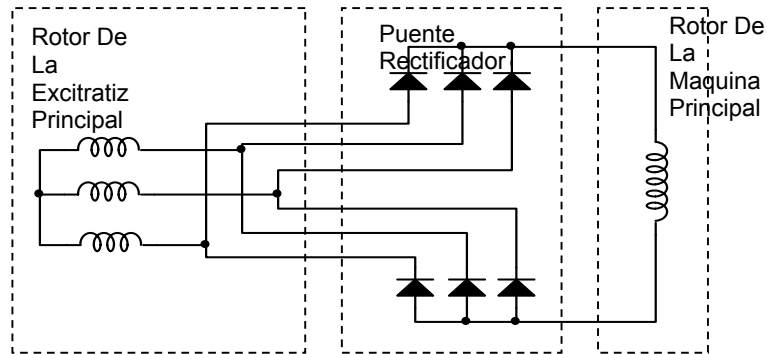
Prueba en los diodos. La conducción de corriente debe suceder solamente en el sentido ánodo - cátodo, o sea, en la condición de polarización directa. Ver Figura 289.

Figura 289. Polarización Del Diodo



Fuente: Manual de generadores sincros WEG línea G www.weg.com.br instalacion y mantenimiento de

Circuito de excitación de campo



NOTA: En la secuencia utilizaremos las siguientes convenciones:

AND - ánodo en la carcasa; (+)

CTD - cátodo en la carcasa. (-)

Para el cambio de los diodos es necesario:

- ✓ Sacar la reja de la ventanilla trasera
- ✓ Soltar el conjunto de diodos del soporte
- ✓ Deshacer la conexión de los diodos con el rotor de la excitatriz

Fijar el soporte en la morsa de la bancada con protección en el mordiente, para retirada de los diodos dañados y colocación de los nuevos.

Poner tres diodos de misma polaridad (AND o CTD) en el soporte.

Fijar el otro soporte en la morsa, de igual forma que el soporte anterior; Poner, en este soporte, tres diodos de polaridad contraria al de los tres diodos anteriores (AND o CTD).

Hacer el apriete de los diodos.

Es de fundamental importancia que el par de apriete sea el indicado a fin de que los diodos no sean dañados en el montaje.

- ✓ **Relé u otro componente del regulador con defecto.** Una falla en estos se debe a sobrecorrientes. Cambiar el regulador de tensión.
- ✓ **Reostato de ajuste de tensión externa roto o conexión interrumpida.** Debido a un Exceso de carbón y degeneración de los cables. Verificar las conexiones en los terminales y el propio reóstato.
- ✓ **Varistor de protección del rotor esta con defecto.** Si estuviera defectuoso, debe ser cambiado, en le caso que no hubiera pieza de reposición, sacarlo temporalmente.

4.5.2.4 El generador no excita, hasta la tensión nominal. Posibles causas:

- ✓ **Rectificadores giratorios defectuosos.** Cambiar el conjunto de los diodos
- ✓ **Velocidad incierta.** Por falla en los rectificadores. Medir la velocidad de la maquina primaria y regularla

- ✓ **Ajuste debajo de la nominal.** Ajustar el potenciómetro en el regulador o en el externo
- ✓ **Alimentación del regulador de tensión no esta de acuerdo con la tensión de salida deseada.** Verificar si las conexiones están de acuerdo con el manual del regulador de tensión.

4.5.2.5 En vacío, el generador excita hasta la tensión nominal, pero entra en colapso con carga. Posibles causas:

- ✓ **Fuerte caída de velocidad.** Controlar selector diesel.
- ✓ **Diodos giratorios defectuosos.** Normalmente las fallas en los diodos son provocadas por factores externos surtos de tensión, error en el sincronismo, sobrecorrientes. Se procede al cambio de diodos

4.5.2.6 El generador, en vacío, es excitado a través de sobre tensión. Posibles causas:

- ✓ **Transistor de potencia del regulador defectuoso; transformador de alimentación del regulador con defecto o incorrecto.** Cambiar el regulador/transformador (verificar relación de tensión/funcionamiento).
- ✓ **Alimentación del regulador de tensión no esta de acuerdo con la tensión de salida deseada.** Rehacer las conexiones. Verificar el manual del regulador de tensión.

4.5.2.7 Oscilaciones en las tensiones del generador. Los problemas referentes a oscilaciones en las tensiones son causados por mal contacto en las escobillas.

- ✓ **Estabilidad mal ajustada.** Ajustar en el trimpot estabilidad del regulador.
- ✓ **Oscilaciones en la rotación de la máquina de accionamiento.** Las oscilaciones fuertes son originarias de la maquina de accionamiento y necesitan ser eliminadas.
- ✓ **Caída de tensión acentuada con recuperación posterior.** Su Causa es un ajuste incorrecto de estabilidad, el generador esta operando sencillo con sistema de paralelismo conectado o una sobrecarga momentánea. Se Debe ajustar la estabilidad. Reducir la carga.

4.5.3 Problemas térmicos

4.5.3.1 Calentamiento excesivo del descanso (rodamiento). El control de la temperatura en un descanso también hace parte del mantenimiento de rutina. La sobre elevación de temperatura no deberá traspasar los 60°C, medido en el anillo externo del rodamiento.

Unas de las causas pueden ser la Falta de grasa en los rodamientos o no posee una considerable holgura axial. Se debe hacer verificación de la situación del rodamiento, grasa y holgura axial. Ver Figura 290.

Figura 290. Revisión del rodamiento



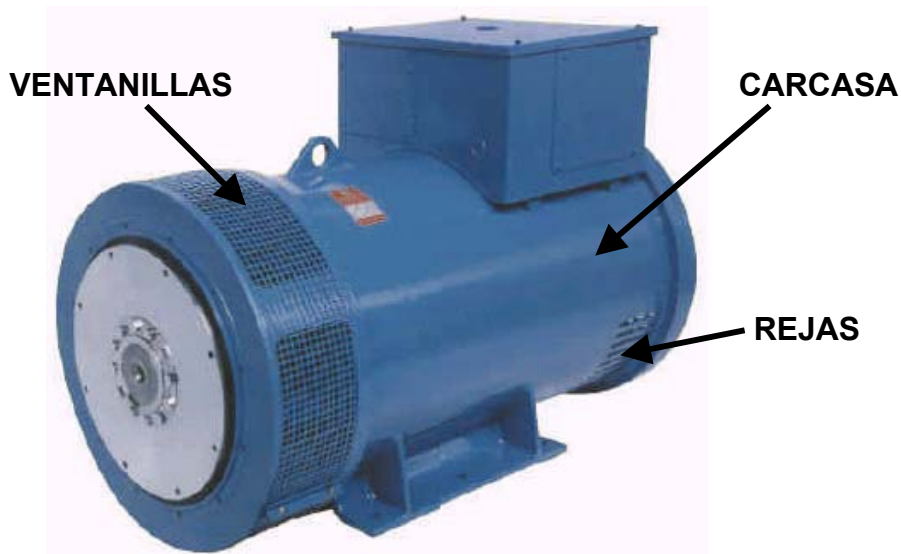
Fuente: <http://www.jenkins.com>

La temperatura podrá ser controlada permanentemente con termómetros, puestos en el lado de fuera del descanso, o con termoelementos embutidos (opcionales). Las temperaturas de alarma y parada para descansos de rodamientos pueden ser ajustadas respectivamente para 90°C y 100°C.

4.5.3.2 Calentamiento excesivo de la carcasa del generador. Flujo de aire (entrada y salida) parcialmente obstruido o el aire caliente esta retornando al generador, Sobrecarga en el generador o Sobreexcitación.

La carcasa, ventanillas, rejjas y deflectoras, ver Figura 291, deben ser mantenidas limpias, sin acumulación de aceite polvo en su parte externa, para facilitar el intercambio de calor con el medio. También en su interior, los generadores deben ser mantenidos limpios, exentos de polvo, detritos y aceites.

Figura 291. Generador



Fuente: www.weg.com.br

Para limpiarlos, se debe utilizar escobas o paños limpios de algodón. Si el polvo no fuere abrasivo, se debe emplear un chorro de aire comprimido, soplando la suciedad de la tapa deflectora y eliminando toda la acumulación de polvo contenido en las palas del ventilador y carcasa.

Para un mejor análisis se debe hacer una termografía o medición de temperatura.

Algunas herramientas usadas para su detección son: Termómetros compactos, de infrarrojo, con visor de láser, termómetro de bolsillo, termómetro bimetalico de aire/superficie, indicadores/medidores de temperatura, termocuplas, Explorador infrarrojo, cámara de infrarrojo, radiómetro de imágenes térmicas de infrarrojo, termómetro laserico de infrarrojo. En la Figura 292 apreciamos unas de estas herramientas.

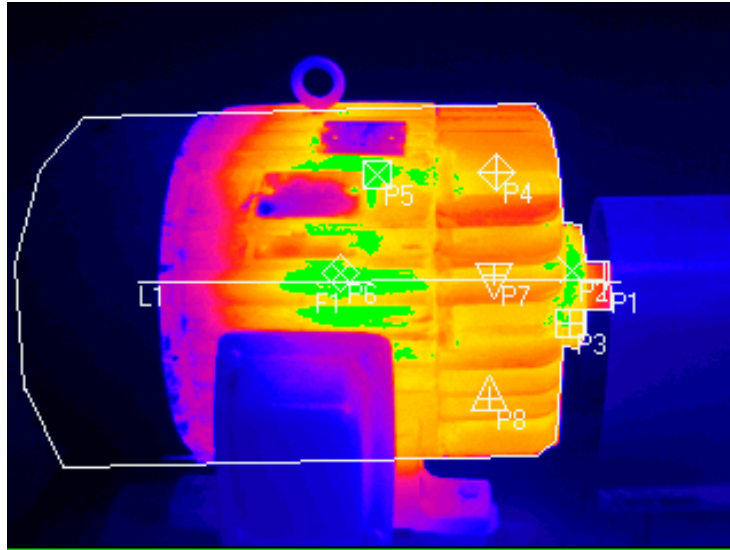
Figura 292. Cámaras de infrarrojos



Fuente: <http://www.termogram.com/productos>

El análisis mide la temperatura de la superficie del generador y de sus componentes. En la Figura 293. podemos ver una lectura infrarroja.

Figura 293. Lectura infrarroja



Fuente: www.tcsuk.ltd.uk/pages/industry1.htm

4.6 PLAN DE MANTENIMIENTO

En la siguiente tabla se muestra la frecuencia con la que se debe realizar las prácticas de mantenimiento en las partes de un generador.

Tabla 11. Plan de mantenimiento

Verificaciones y tareas de mantenimiento a ejecutar	Diariamente	Semanal	Bimensual	Semestral
Observar ruidos extraños con el generador en movimiento	*			
Inspeccionar la ventilación (flujo de aire)	*			
Verificar resistencia de Aislamiento		*		
Verificar y reapretar los tornillos y terminales de		*		

conexión				
Verificar niveles de vibración y ruido		*		
Inspeccionar rodamientos		*		
Inspeccionar las conexiones del regulador de tensión		*		
Limpia el generador externa e internamente			*	
Inspeccionar el funcionamiento y las conexiones de los accesorios (resistencia de aislamiento y detectores de Temp.)			*	
Inspeccionar los diodos rectificadores			*	
Lubricar los rodamientos ¹				
Cambiar los rodamientos ²				
Revisión completa del generador				*

Fuente: Fuente: Manual de instalación y mantenimiento de generadores síncronos WEG línea G
www.weg.com.br

1 Verificar el intervalo de lubricación y cantidad de grasa

2 El cambio del (s) rodamiento debe ser efectuada en cada 20000 horas o cuando presenten falla

5. MANUAL DE USUARIO

5.1 INTRODUCCIÓN

El Software *"Análisis Eléctrico1.0"* es una Aplicación diseñada pedagógicamente para servir como herramienta de apoyo, para los estudiantes de pregrado de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y de Postgrado en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Industrial de Santander. El resultado final es un diseño amigable y de fácil acceso que atrae la atención del usuario que interactúa con la aplicación y está acorde con la teoría en Ingeniería de Mantenimiento. Se espera que el uso de estas tecnologías de creación Web aumente ante el auge de Nuevas Tecnologías de la información aplicadas a la educación incorporar como una rama en lugar especial a la educación virtual.

Los materiales educativos han tomado un papel fundamental en el aprendizaje y mediante la tecnología han sido dotados de multimedios que permiten estimular de manera multisensorial al estudiante, por lo que contribuyen de una manera más significativa a lograr aprendizajes efectivos, con calidad, atractivos y adaptables a las necesidades de cada individuo.

El tutorial esta contenido en un CD-ROM y fue construido con la ultima tecnología de Macromedia Fireworks, Dreamweaver, Flash y otros programas de animación; así como también programas de creación y edición Gráfica como Corel, Photoshop, Until; con un ambiente amigable que despliega una serie de contenido (gráficos, imágenes, videos y animaciones) para mostrar problemas comunes en Transformadores, Generadores y motores.

Figura 294. Boceto de introducción

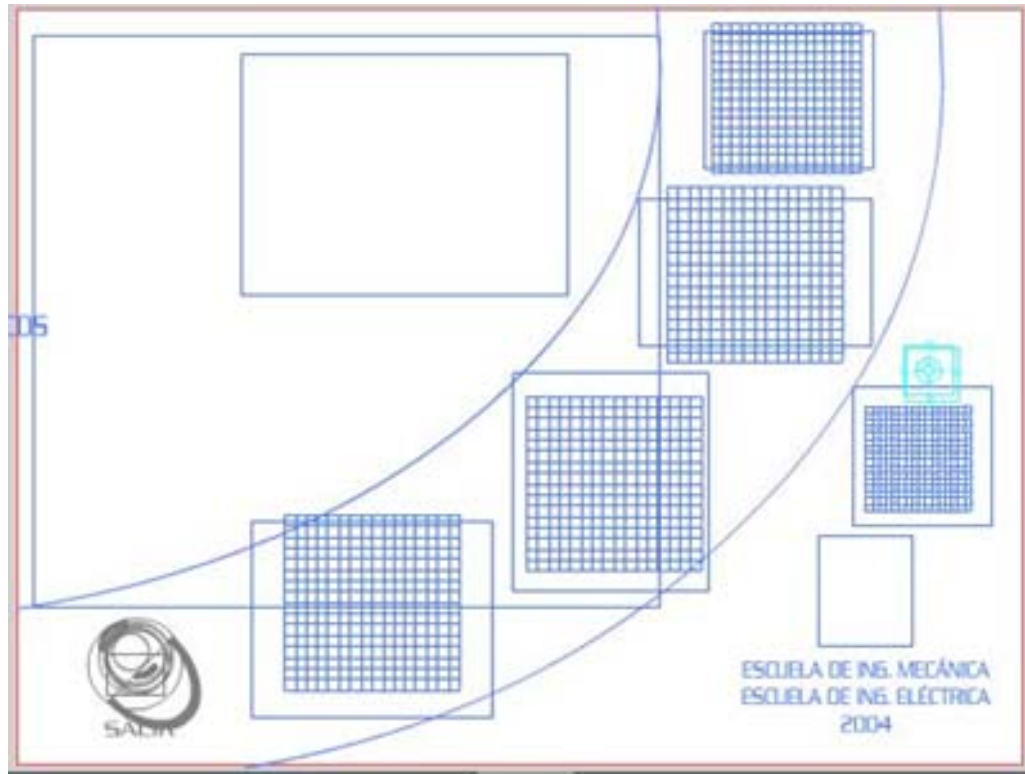


Figura 295. Macromedia Flash MX 2004



Figura 296. Corel Draw 10

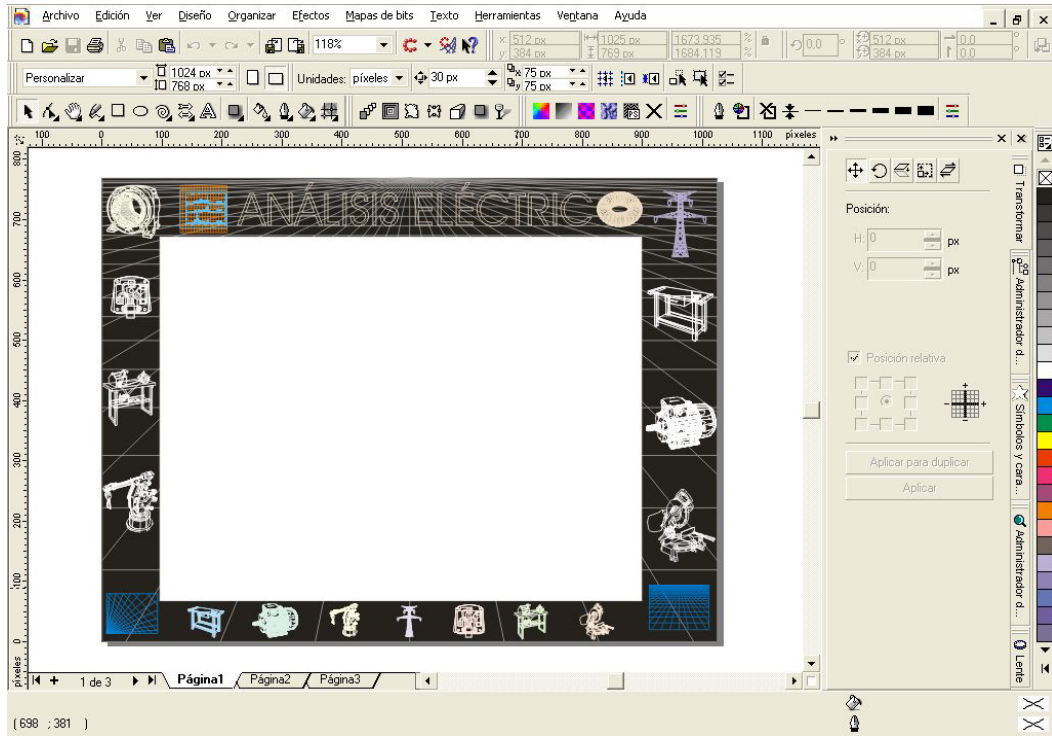


Figura 297. Macromedia Dreamweaver MX 2004

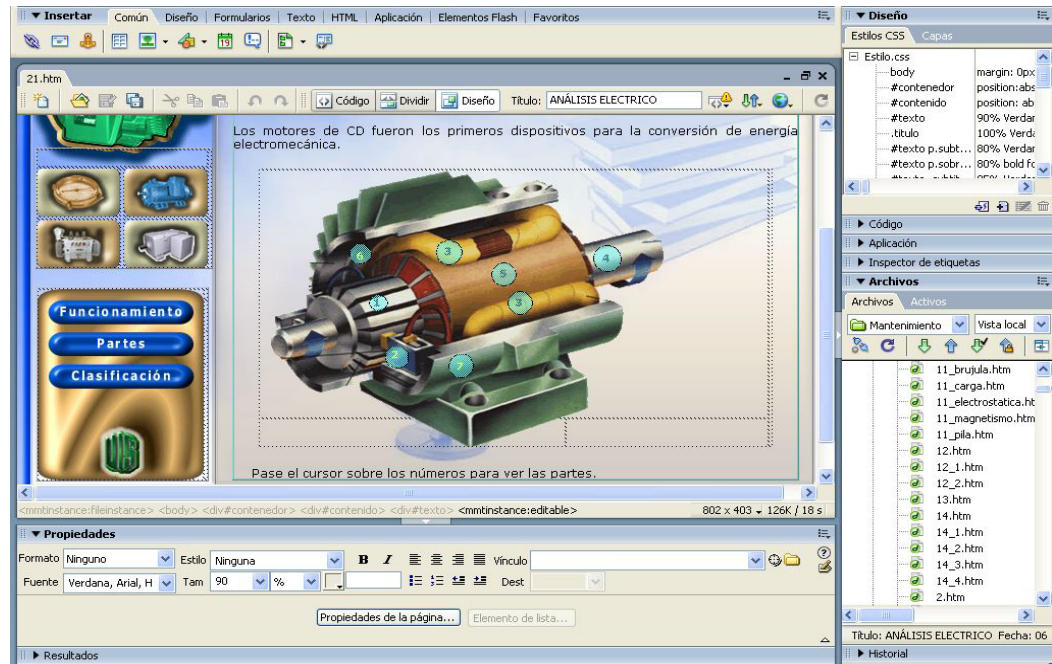
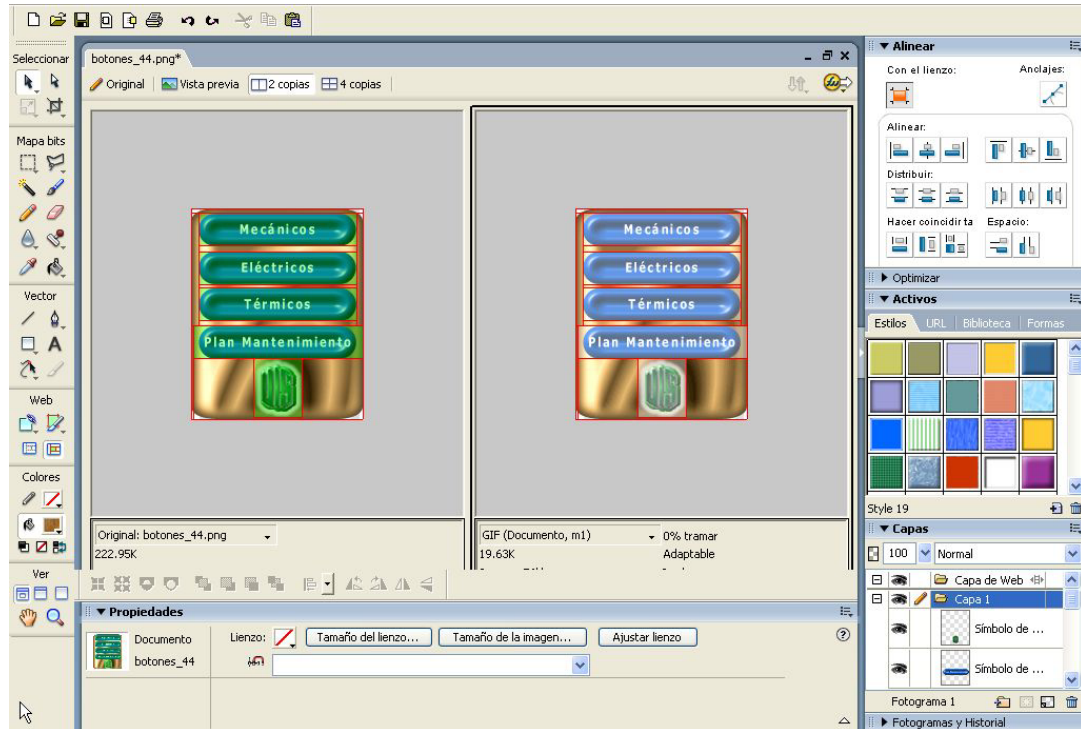


Figura 298. Macromedia Fireworks



5.2 ESTRUCTURA DEL TUTORIAL Y NAVEGACION

El Software "*Análisis Eléctrico 1.0*" se ha distribuido temáticamente según una estructura lógica compuesta por los siguientes módulos que corresponden a los capítulos del proyecto:

1. Generalidades
2. Motores
3. Transformadores
4. Generadores
5. Autores

Cada módulo esta dividido en módulos secundarios y subtemas consecuentes que permiten al usuario llevar su propio ritmo de aprendizaje, pudiendo direccional su aprendizaje de una forma fácil y efectiva.

5.2.1 Características del software tutorial: El Software *“Análisis Eléctrico1.0”* presenta las características propias de un material educativo, respondiendo a las necesidades de los usuarios.

Entre sus características están:

5.2.1.1 Contenido hypermedia: Es una metodología que permite acceder a la información a través de hipervínculos o enlaces; facilitándole así al usuario la navegación dentro del software

5.2.1.2 Dinamicidad: El contenido de esta aplicación permite su actualización continúa, dependiendo de las necesidades de información que se tengan y de las nuevas tecnologías con que se disponga.

5.3 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA:

Sistema operativo:	Windows 98, Millenum, 2000, XP
CPU:	Pentium III 500Mhz, AMD 500Mhz
Memoria:	Mínimo 64MB, recomendable 128MB
Resolución monitor:	Mínima 600x 800 recomendable 1 024x768
Lector CD-ROM:	32x o superior
Espacio libre en disco duro:	500MB
Audio:	8 bits

El sistema posee una interfaz muy amigable, para navegar por ella, cada parte de la interfaz se describe en las siguientes páginas:

Figura 299. Pantalla de presentación

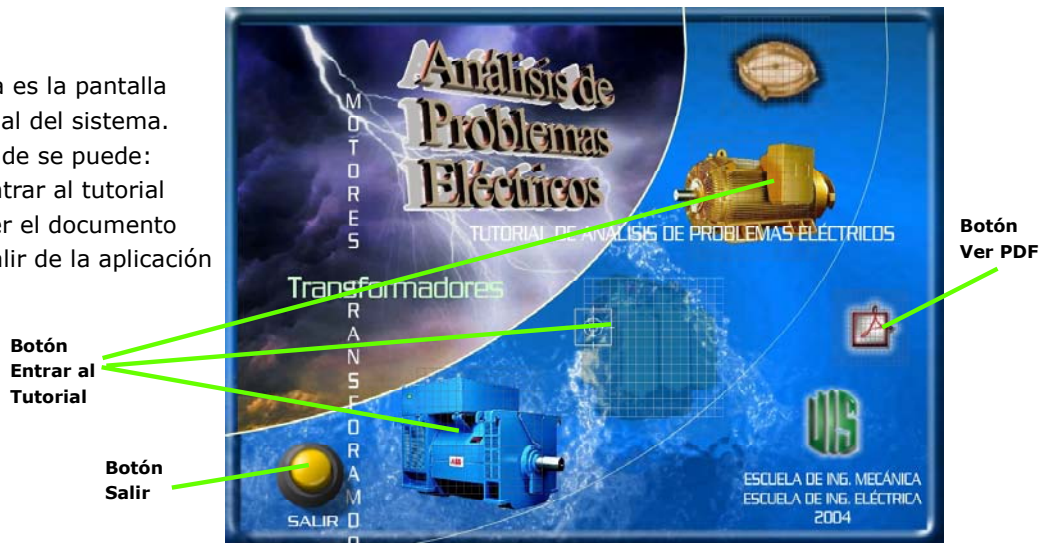
Esta es la pantalla de presentación del sistema.



Figura 300. Pantalla de inicio de la aplicación

Esta es la pantalla inicial del sistema. Donde se puede:

- Entrar al tutorial
- Ver el documento
- Salir de la aplicación



A continuación se presentan algunos pantallazos del tutorial, con el programa en que se diseñaron.

Figura 301. Pantalla aleatoria de motores



Figura 302. Pantalla de diseño de botones



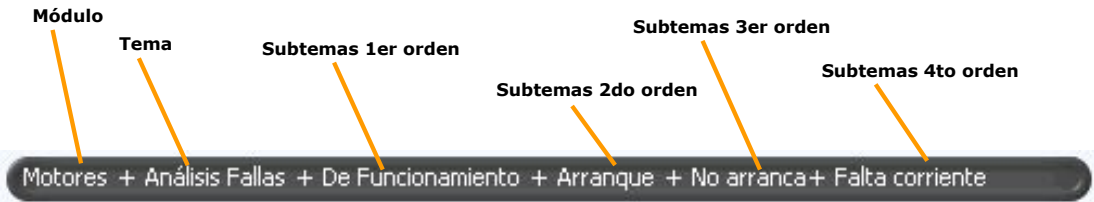
Detalle de los botones para ir a los módulos



Detalle de los botones para navegar en los módulos

Durante todo el tutorial el usuario tiene la posibilidad de saber en que ubicación del mismo se encuentra; puesto que en la parte inferior de cada pantalla hay incluida una barra de navegación, como la que se muestra en la figura 303.

Figura 303. Barra de navegación



Detalle de barra indicadora de la aplicación.
Indica en que módulo y subtemas se encuentra el usuario en cualquier momento

CONCLUSIONES

El **Software Tutorial Análisis Eléctrico**, presenta las siguientes ventajas:

- ❖ Ofrece al usuario los conceptos básicos de funcionamiento de los equipos tratados en el software.
- ❖ Ofrece al usuario una guía para el análisis de los problemas eléctricos y mecánicos en los equipos tratados en el software.
- ❖ Brinda al usuario la información de una forma concreta y ordenada.
- ❖ El software le ofrece al usuario un ambiente agradable e interactivo, con lo que él puede llevar su propio ritmo de aprendizaje y estudiar sus temas de interés.
- ❖ Además de ver la información, el usuario puede complementar su aprendizaje mediante imágenes, videos y animaciones.

RECOMENDACIONES

- ❖ La experiencia adquirida durante la elaboración de este proyecto permite recomendar la estructuración de los contenidos de las asignaturas de pregrado y postgrado mediante el uso de este tipo de presentaciones.
- ❖ Teniendo en cuenta la estructura utilizada en la elaboración de este material se recomienda el desarrollo de futuros proyectos en pro de enriquecer en conocimiento científico en esta rama de la ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

BRACEWELL. THE Fourier Transform And Its Applications. McGraw Hill, c 1986. xx, 474 p. (6988).

DAWES. Electricidad Industrial. Reverte, 1958. 2 v. (399; 430 p.) (8386; 8387).

_____ Tratado De Electricidad. Gili, c 1970. 2 v. (418-419).
Contenido: V. 1. Corriente Continua - V. 2. Corriente Alterna.

DUCLOUT. Electricidad Elemental Moderna. Duclout, 1945. 362 p. (4990).

ELECTRICIDAD BASICA. Bell, 1977. 7 v. (2328-2334).

ENCICLOPEDIA CEAC DE ELECTRICIDAD. CEAC, 1972-1980. v. 2,5,6,7,8,11 y 13 (v.2:8991 - v.5:8993 - v.6:6413; 9465 - v.7:8990 - v.8:8992 - v.11:6177; 9464 - v.13:4565). Contenido: V.2. Pilas Y Acumuladores. Maquinas De Corriente Continua - V.5. Maquinas Motrices. Generadores De Energía Eléctrica - V.6. Centrales Eléctricas - V.7. Estaciones De Transformación Y Distribución. Protección De Sistemas Eléctricos - V.8. Instalaciones Eléctricas Generales - V.11.

HANCOCK, S. Effect of voltage variations on characteristics of DC Motors; Elec. Jour. 1.978. 572 p.

IEEE RECOMMENDED PRACTICE FOR ELECTRIC POWER DISTRIBUTION FOR INDUSTRIAL PLANTS: IEEE STD 141-1976. The Institute, c 1976. 388 p. (4544; 5798).

MARCO SANCHO. Esquemas Eléctricos Industriales : De Trabajo Y De Mando De Motores Asíncronos Trifásicos ; Automatización De Circuitos Industriales. [S.E.], 1975. 248 p. (7029).

MARTÍNEZ CLEVES, William. Mantenimiento Predictivo: Termografía. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2002. 43 p.

MORA, Luis Alberto. Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y Criticidades de las Fallas en Mantenimiento Industrial. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2003. 68 p.

SCHOENTJES. Compendio De Electricidad Práctica: Para Uso De Los Maquinistas, De Los Montadores Y De Los Propietarios De Instalaciones Eléctricas. Gili, 1971. 286 p. (496).

<http://www.Clasificacion De Los Motores Asíncronos Trifasicos.Htm>

<http://alek.pucp.edu.pe/cursos/pregrado/iee215/gensincrono/sincrono.htm>

<http://alek.pucp.edu.pe/cursos/pregrado/iee215/motordc/wmaq.htm>

http://www.geocities.com/alaro2001/espaniol/fechas_historia.htm

<http://www.geocities.com/SiliconValley/Program/7735/libros.htm>

<http://alek.pucp.edu.pe/cursos/pregrado/iee215/transformador/trafo.htm>

ANEXOS

PRIMER ESTUDIO CIENTIFICO SOBRE LA ELECTRICIDAD

Fue el primer tratado donde se estableció que existían varias sustancias, aparte del ámbar, que poseían la propiedad de atraer objetos al ser frotadas.

Figura 2. Theophrastus



ELEKTRON

Palabra griega que significa ámbar, o más propiamente ámbar amarillo, en razón de que los antiguos habían observado que dicha piedra, al ser frotada, además de ejercer una fuerza de atracción sobre los cuerpos más ligeros, podía producir chispas por efecto de la fricción, fenómeno al que, se le otorgó el nombre de la piedra (o resina fósil), es decir, del "ámbar" (o elektron) según anotáramos, vocablo del que procede el término actual "electricidad".

"electricidad" (agente físico, propiedad fundamental de la materia que se utiliza como energía y genera luz, calor, movimiento, campos magnéticos, etcétera) proviene del latín *electrum* y éste del griego *elektrón*.

ELECTRICIDAD ESTÁTICA

La electricidad estática es un fenómeno natural. De una u otra manera, la hemos experimentado en el trabajo o en cualquier otro lugar. Al arrastrar los pies sobre una alfombra en un día frío y luego tocar algo o a alguien, usted puede recibir inmediatamente una descarga de electricidad estática. Una tormenta eléctrica es otro ejemplo de electricidad estática.

Con sólo caminar en un área de trabajo usando zapatos con suela de goma, un trabajador está causando una carga estática de entre 3.000 a 4.000 voltios que pueden arruinar el equipo de trabajo con sólo tocarlo.

QUE ES LA ELECTRICIDAD ESTATICA

La electricidad es el simple fluido de electrones libres. Cada electrón es parte del componente básico de toda materia. La materia lo es todo en el universo. Cuando estos electrones existen en cantidades desiguales en dos objetos diferentes, y cuando estas cantidades son grandes, la electricidad fluye en una forma estática con una descarga o chispas.

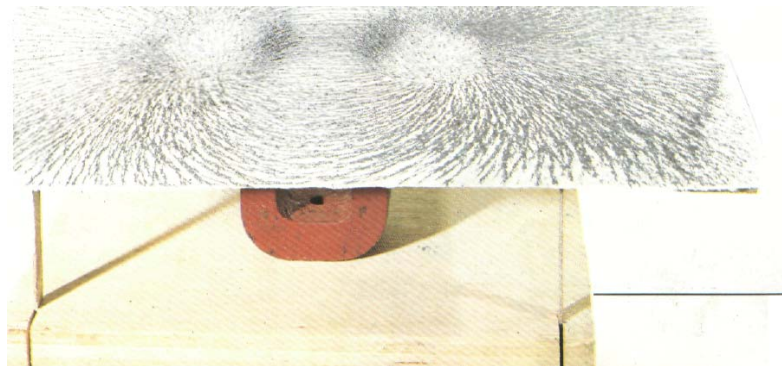
Una descarga estática de un objeto puede ser transferida a otro de dos maneras: por conducción o por inducción. La diferencia está en que por conducción los objetos tienen que ser tocados de manera que las cargas sean transmitidas. En la inducción los objetos no tienen que hacer contacto.

Un objeto cargado de estática transferirá electrones a otro no cargado hasta que se logre en ambos un balance de cargas. Este balance es conocido como equilibrio.

CAMPO MAGNETICO

Si se esparcen limaduras de hierro en una hoja de papel situada sobre una barra imantada, éstas se distribuirán inmediatamente formando determinadas figuras: se situarán a lo largo de líneas que van de un punto a otro del papel, justo encima de los extremos o polos del imán. Se puede decir que las líneas son aproximadamente concéntricas, teniendo una configuración parecida a las capas de una cebolla, Las limaduras de hierro se colocan en esa posición aunque el imán no esté en contacto directo con el papel.

Figura 14. Comportamiento De La Limadura De Hierro Al Ser Sometida A La Acción Del Campo Magnético. (Imán Bajo El Papel).



Campos y líneas de fuerza

El comportamiento de las limaduras de hierro refleja la existencia del llamado [campo](#), es decir, aquella zona del espacio en la que se manifiesta una fuerza.

Un campo magnético ejerce fuerzas sólo sobre aquellos objetos capaces de crear a su vez un campo magnético

Una barra imantada está polarizada, lo que significa que el efecto se

manifiesta con más intensidad y con distinto signo en dos puntos del imán llamados polos. Las líneas de fuerza del campo magnético van de un polo a otro, siendo la configuración adoptada por las limaduras de hierro la representación exacta de las líneas de fuerza de la barra imantada.

Figura 17. Líneas De Fuerza Del Campo Magnético De Una Barra Imantada



Igual que sucede para las cargas eléctricas, dos polos iguales (es decir, dos polos norte o dos polos sur) se rechazan, como se rechazan dos cargas eléctricas del mismo signo. En cambio, dos polos distintos (uno norte y uno sur) se atraen, igual que dos cargas eléctricas de signo opuesto.

Poniendo debajo de un papel los polos norte (o sur) de dos imanes, se verá como la limadura de hierro se dispone a lo largo de líneas divergentes.

Figura 18. Líneas Divergentes En Polos Iguales



En cambio, poniendo debajo de una hoja de papel los polos opuestos de dos imanes, o de un imán en herradura, se verá como las líneas de fuerza del campo van con un cierto paralelismo de un polo a otro, ya que éstos son de distinto signo.

Figura 19. Líneas Convergentes En Polos Distintos



Las líneas de fuerza de un campo no se cruzan nunca, y la intensidad de éste se representa por la proximidad que exista entre las líneas. Las distintas sustancias oponen una mayor o menor resistencia al paso de los campos

magnéticos a través de ellas. Los materiales que permiten que las líneas de fuerza del campo magnético les atraviesen fácilmente se llaman ferromagnéticos, es decir, son permeables al campo magnético. El hierro y el níquel son muy permeables, mientras que el aire y otros elementos lo son mucho menos.

Alineamiento

Los efectos de los campos magnéticos son bastante más complejos que los de los campos gravitatorios, en los que únicamente se atraen unos objetos a otros. Cuando dos campos magnéticos interactúan, tienden a alinearse el uno respecto al otro. La brújula es un ejemplo de este comportamiento, ya que se trata de una barra imantada que puede moverse libremente en el plano horizontal y que tiende a dirigir sus polos, uno hacia el norte magnético y el otro hacia el sur magnético. El extremo de la barra que apunta hacia el norte recibe el nombre de polo norte, y el otro extremo, el de polo sur. El campo magnético de la Tierra, cuyos polos se encuentran relativamente cerca de los polos norte y sur geográficos, es el responsable de la dirección tomada por la aguja imantada, que se sitúa paralela a las líneas de fuerza del campo magnético terrestre. Teniendo en cuenta que cada trocito de limadura de hierro es un pequeño imán, su comportamiento, al formar figuras regulares sobre el trozo de papel, es otro ejemplo de cómo un campo magnético produce fuerzas capaces de crear un alineamiento a lo largo de las líneas de fuerza del campo.

CAMPO

Campo, es aquella zona del espacio en la que se manifiesta una fuerza.

El campo gravitatorio de la Tierra, por ejemplo, es la zona del espacio en la que se manifiesta la fuerza del peso de los objetos. Esto se esquematiza con una representación gráfica formada por líneas imaginarias, llamadas líneas de fuerza, la dirección a lo largo de la cual se ejercen las fuerzas del campo; por ejemplo, las líneas de fuerza que representan de forma gráfica la gravedad terrestre son rectas con flechas dirigidas hacia el centro de la Tierra. La Tierra se comporta como un gigantesco imán, creando un intenso campo magnético en el espacio que la rodea, en el dibujo están representadas esquemáticamente las líneas de fuerza. La aguja de la brújula intenta alinear el suyo con el campo magnético terrestre.

Figura 15. Orientación Del Campo Magnético Terrestre

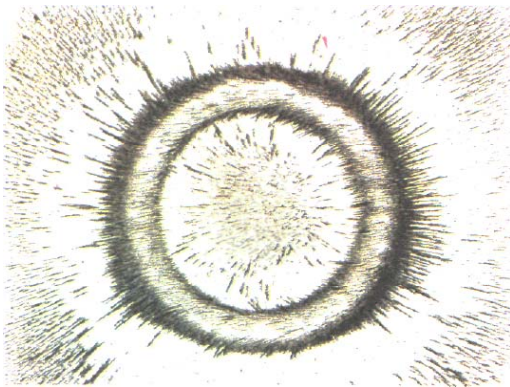


La propiedad de los campos magnéticos de ejercer fuerzas mecánicas tiene consecuencias muy importantes, Por ejemplo, el campo magnético terrestre nos protege de muchas de las radiaciones del Sol que son dañinas para nosotros.-La materia de la superficie solar está formada por átomos que han

perdido un electrón y por electrones libres. Cuando se mueve, se mueven también partículas cargadas y por tanto se crean campos magnéticos. En determinadas circunstancias, estos campos pueden proyectar algunas de las partículas al espacio, que podrían llegar a la Tierra donde causarían graves daños a todos los seres vivos. Afortunadamente, el campo magnético terrestre ejerce sobre estas partículas en movimiento una fuerza mecánica que las aleja de nuestro planeta, de forma parecida a como la corriente eléctrica de Oersted rechazaba la aguja de la brújula.

No todos los diferentes tipos de campos se comportan de modo semejante; así, mientras un campo gravitatorio ejerce una fuerza sobre todos los objetos contenidos en su interior (debido a su masa), un campo magnético ejerce fuerzas sólo sobre aquellos objetos capaces de crear a su vez un campo magnético, notándose la influencia únicamente en los imanes y en las cargas eléctricas en movimiento.

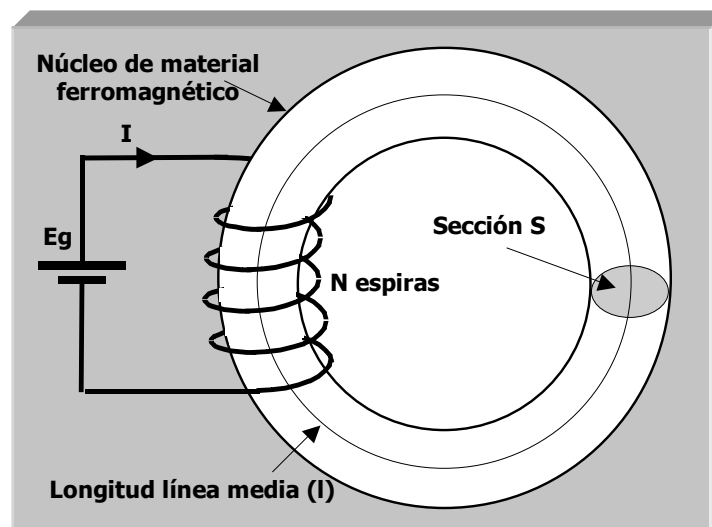
Figura 16. Líneas De Fuerza Del Campo Magnético Creado Por Un Imán Con Forma De anillo y por un imán en forma d barra.



RELUCTANCIA MAGNÉTICA

Se conoce como Reluctancia Magnética al cociente entre la fuerza magnetomotriz inducida y el flujo de inducción magnética de un circuito magnético.

Figura 20. Ejemplo De Un Sistema Magnético Sencillo.



$$F = \phi \frac{1}{\mu A} = \phi R \quad (2) \qquad \phi = BA \quad (3)$$

La fuerza magnetomotriz representa la suma de corrientes que crean el campo magnético. Como la sección es pequeña en comparación con la longitud se supone que la intensidad de campo es constante en toda ella.

F: Fuerza magnetomotriz.

ϕ : Flujo encerrado en la espira.

B: Campo magnético.

A: Área de la sección.

R: Reluctancia magnética.

μ : Permeabilidad magnética.

CARGAS ELECTRICAS

Todos estamos familiarizados con los efectos de la electricidad estática, incluso algunas personas son más susceptibles que otras a su influencia. Ciertos usuarios de automóviles sienten sus efectos al cerrar con la llave (un objeto metálico puntiagudo) o al tocar la chapa del coche.

Creamos electricidad estática, cuando frotamos un bolígrafo con nuestra ropa. A continuación, comprobamos que el bolígrafo atrae pequeños trozos de papel. Lo mismo podemos decir cuando frotamos vidrio con seda o ámbar con lana.

Para explicar como se origina la electricidad estática, hemos de considerar que la materia está hecha de átomos, y los átomos de partículas cargadas, un núcleo rodeado de una nube de electrones. Normalmente, la materia es neutra, tiene el mismo número de partículas positivas y negativas.

Algunos átomos tienen más facilidad para perder sus electrones que otros. Si un material tiende a perder algunos de sus electrones cuando entra en contacto con otro, se dice que es más positivo en la serie triboeléctrica. Si un material tiende a capturar electrones cuando entra en contacto con otro material, dicho material es más negativo en la serie triboeléctrica.

El vidrio frotado con seda provoca una separación de las cargas por que ambos materiales ocupan posiciones distintas en la serie triboeléctrica, lo mismo se puede decir del ámbar y del vidrio. Cuando dos materiales no conductores entran en contacto uno de los materiales puede capturar electrones del otro material. La cantidad de carga depende de la naturaleza de los materiales (de su separación en la serie triboeléctrica), y del área de la

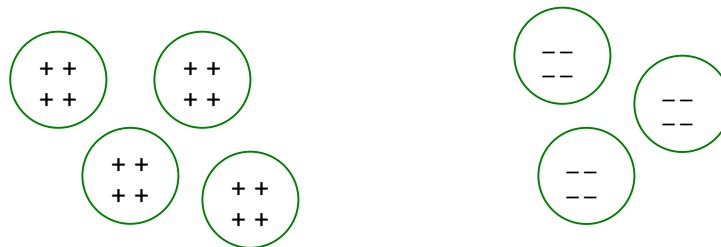
superficie que entra en contacto. Otro de los factores que intervienen es el estado de las superficies, si son lisas o rugosas (la superficie de contacto es pequeña).

La humedad o impurezas que contengan las superficies proporcionan un camino para que se recombinen las cargas. La presencia de impurezas en el aire tiene el mismo efecto que la humedad. Habremos observado que frotando el bolígrafo con nuestra ropa atrae a trocitos de papeles. En las experiencias de aula, se frota diversos materiales, vidrio con seda, cuero, etc. Se emplean bolitas de saúco electrizadas para mostrar las dos clases de cargas y sus interacciones.

De estos experimentos se concluye que:

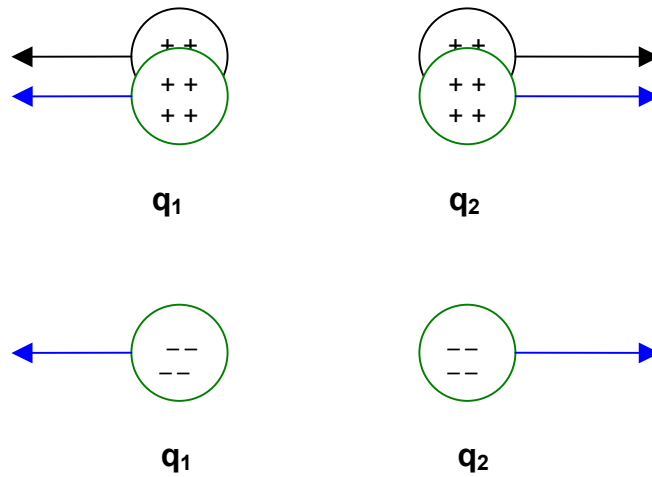
1. La materia contiene dos tipos de cargas eléctricas denominadas positivas y negativas. Los objetos no cargados poseen cantidades iguales de cada tipo de carga. Cuando un cuerpo se frota la carga se transfiere de un cuerpo al otro, uno de los cuerpos adquiere un exceso de carga positiva y el otro, un exceso de carga negativa. En cualquier proceso que ocurra en un sistema aislado, la carga total o neta no cambia.

Figura 21. Cargas Eléctricas Positivas Y Negativas



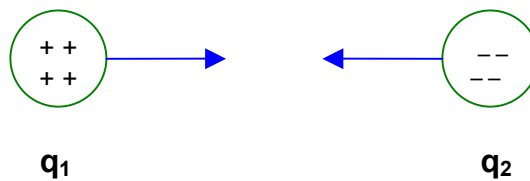
2. Los objetos cargados con cargas del mismo signo, se repelen.

Figura 22. Comportamiento Entre Cargas Del Mismo Signo



3. Los objetos cargados con cargas de distinto signo, se atraen.

Figura 23. Comportamiento Entre Cargas De Distinto Signo



De esta manera cuando hablemos de una carga, nos podemos estar refiriendo a cualquier cuerpo que puede ser atraído o repelido eléctricamente por otro.

Las expresiones "carga positiva" y "carga negativa" definen un tipo de energía potencial que se manifiesta en las relaciones entre un tipo de cargas y otro.

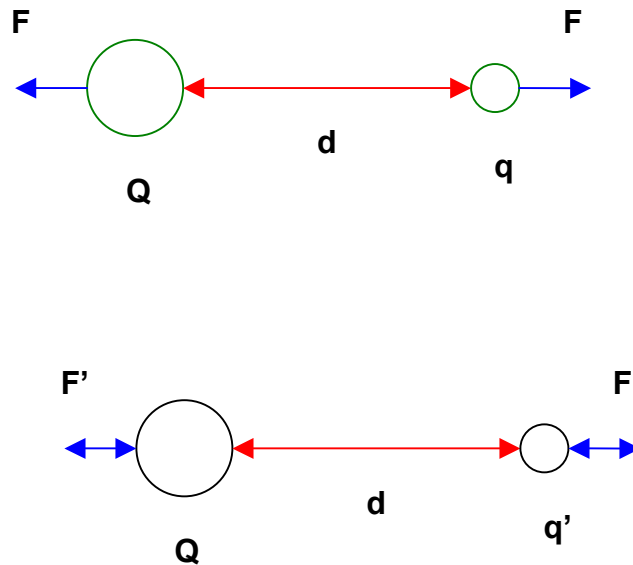
En realidad no se conoce con precisión la naturaleza de esta propiedad, pero se conoce perfectamente su comportamiento y cómo aprovecharlo para aplicaciones prácticas.

Ahora que ya tenemos una idea física de lo que son las cargas eléctricas, analicémoslas:

Medida de la carga eléctrica

Tomamos un cuerpo con carga arbitraria Q y a una distancia d colocamos una carga q . Medimos la fuerza F ejercida sobre q . Seguidamente colocamos una carga q' a la misma distancia d de Q , y medimos la fuerza F' ejercida sobre q' .

Figura 24. Fuerza Entre Cargas Separadas A Una Distancia D



Definimos los valores de las cargas q y q' como proporcionales a las fuerzas F y F' .

$$\frac{q}{q'} = \frac{F}{F'} \quad (4)$$

Si arbitrariamente asignamos un valor unitario a la carga q' , tenemos un medio de obtener la carga q . En el Sistema Internacional de Unidades de Medida, la magnitud fundamental es la intensidad cuya unidad es el ampère o amperio, A , siendo la carga una magnitud derivada cuya unidad es el coulomb o culombio C .

La ley de Coulomb

Mediante una balanza de torsión, Coulomb encontró que la fuerza de atracción o repulsión entre dos cargas puntuales (cuerpos cargados cuyas dimensiones son despreciables comparadas con la distancia r que las separa) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} \quad (5)$$

q y **q'**: Cargas eléctricas

F: Fuerza de atracción o repulsión entre las cargas q y q'

r: Distancia de separación entre q y q'

ϵ_0 : Permeabilidad magnética en el vacío

El valor de la constante de proporcionalidad depende de las unidades en las que se exprese F , q , q' y r . En el Sistema Internacional de Unidades de Medida vale:

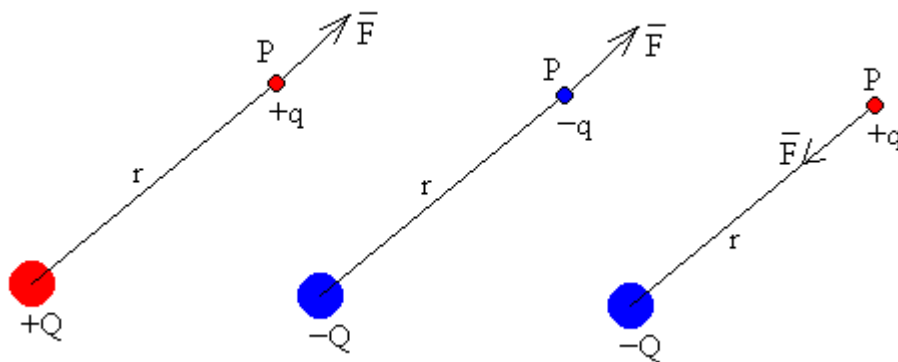
$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \left[\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right] \quad (6)$$

La ley de Coulomb nos describe la interacción entre dos cargas eléctricas del mismo o de distinto signo. La fuerza que ejerce la carga Q sobre otra carga q situada a una distancia r es.

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} \hat{r} \quad (7)$$

La fuerza F es repulsiva si las cargas son del mismo signo y es atractiva si las cargas son de signo contrario.

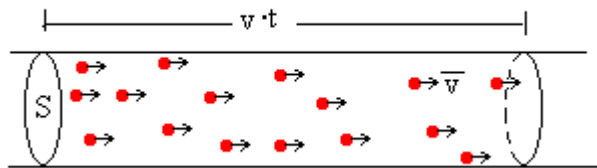
Figura 25. Fuerza Entre Cargas



LA CORRIENTE ELECTRICA

La parte central del átomo, el núcleo, está formada principalmente por dos tipos de partículas: los protones, con carga positiva, y los neutrones, que no tienen carga eléctrica.

Figura 26. Movimiento De Protones A Través De Un Conductor

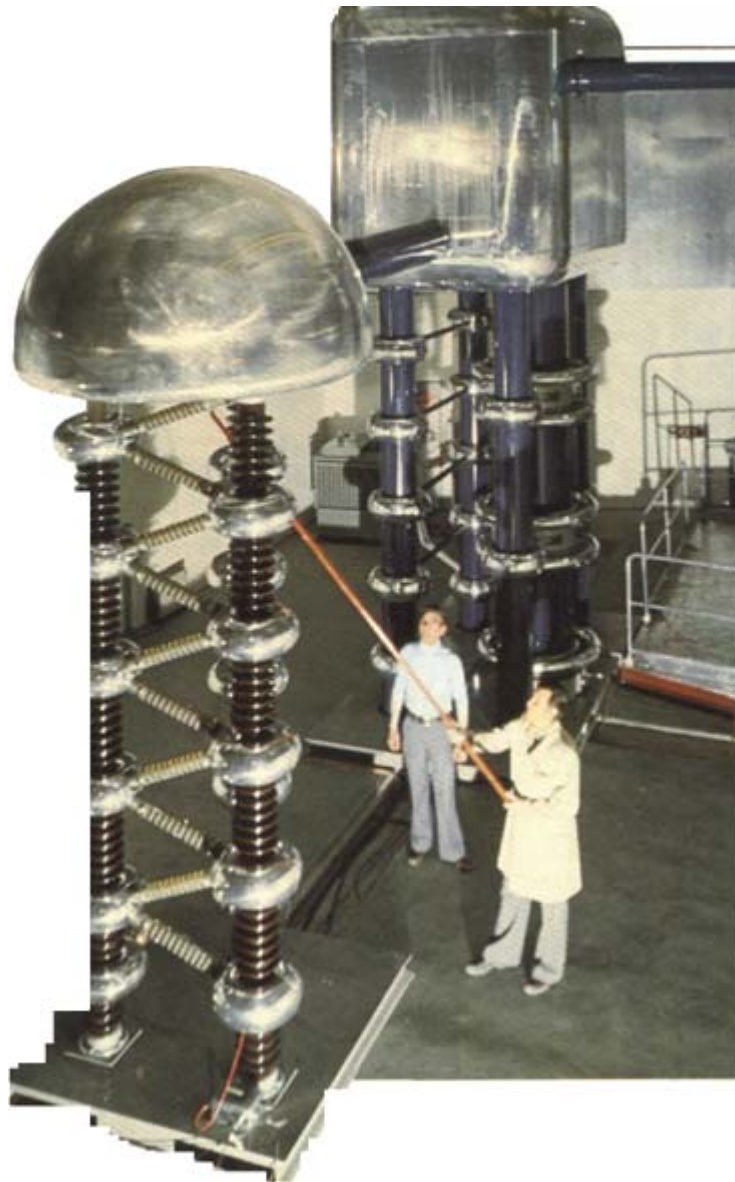


Los electrones, que también son partículas del átomo, describen órbitas alrededor del núcleo y un átomo en condiciones de equilibrio tiene exactamente el mismo número de protones y electrones, con lo que el átomo no tiene en este caso carga eléctrica. Las órbitas que describen los electrones tienen distintas formas y amplitudes dependiendo del nivel energético que posean. Por ejemplo, un átomo de carbono tiene 6 protones y sus 6 electrones se mueven en dos niveles energéticos, estando dos electrones en el primero y cuatro en el segundo. En el cobre, el electrón 29 tiene que ocupar el cuarto nivel y, debido a que su unión con el núcleo es menos fuerte, se puede separar fácilmente del átomo, pasando a ser un electrón libre. Estos electrones libres son la base del flujo de corriente eléctrica en los conductores.

Como la carga del electrón es muy pequeña para provocar una corriente perceptible, se tienen que mover cantidades enormes de electrones. Cuando por un cable circula una corriente de 1 amperio pasan aproximadamente 10^{19} electrones por segundo.

Electricidad es la débil carga que se acumula en un paño frotado enérgicamente,

Figura 27. Acelerador De Cockcroft-Walton



Pero puede también demostrar toda su fuerza en máquinas como el acelerador de Cockcroft-Walton, capaz de acelerar partículas con una energía

de algunos millones de electrón-voltios.

Todos los metales tienen en sus niveles electrónicos extremos electrones que se pueden liberar, por lo que en general son buenos conductores de la electricidad, Los electrones libres pueden circular como tales por la estructura atómica del material o estar en los átomos e ir saltando de uno a otro cuando exista alguna fuerza que los anime. Por tanto, cuando un generador provoca una corriente eléctrica en un material conductor, esta corriente no es más que un flujo de electrones que van pasando de un átomo a otro en dicho material.

Figura 28. Comportamiento de la Corriente Eléctrica En Un Material Conductor



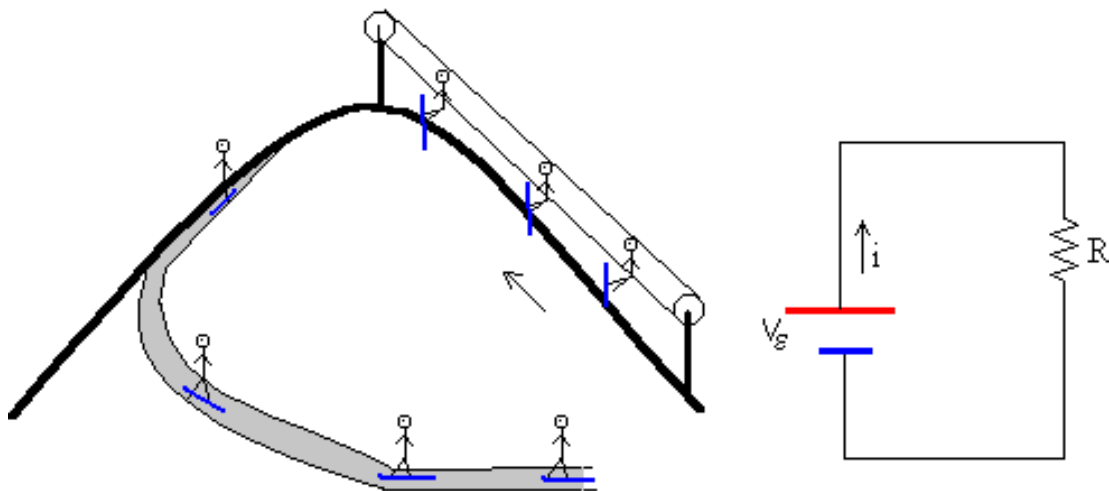
Los electrones de un átomo, que tienen carga negativa, se mantienen en sus niveles electrónicos por la atracción que ejercen los protones del núcleo con su carga positiva. Por este motivo los electrones de los últimos niveles, más

alejados de los protones y con menos fuerza de atracción, se pueden separar fácilmente del átomo. Una vez libre, el electrón se dirigirá hacia donde haya carga positiva, bien hacia algún protón aislado bien hacia algún átomo que tenga un balance de cargas positivo.

Fuerza electromotriz

El agua que abastece una ciudad baja espontáneamente desde un depósito situado en la cima de una colina. Ahora bien, para mantener el nivel del depósito, es necesario ir llenándolo a medida que el agua se consume. Un motor conectado a una bomba puede elevar el agua desde un río cercano hasta el depósito.

Figura 29. Esquema De Diferencia De Potencial



En una pista de esquí, existen instalaciones que suben a los esquiadores por los remontes mecánicos hasta el alto de una colina, luego, los esquiadores bajan pendiente abajo. Los esquiadores son equivalentes a los portadores de

carga, el remonte mecánico incrementa la energía potencial del esquiador. Luego, el esquiador baja deslizándose por la colina hasta la base del remonte.

En un conductor los portadores de carga (positivos) se mueven espontáneamente desde un lugar en el que el potencial es más alto hacia otro lugar en el que el potencial es más bajo, es decir, en la dirección del campo eléctrico. Para mantener el estado estacionario es necesario proveer de un mecanismo que transporte los portadores de carga desde un potencial más bajo hasta un potencial más elevado.

En análisis de circuitos eléctricos, es común imaginar que una fuente de voltaje es una fuerza electromotriz (fem) que impulsa a la corriente (I) a través de un circuito eléctrico, y que la corriente es la respuesta.

Se denomina fuerza electromotriz o fem al trabajo por unidad de carga que realiza el dispositivo. Aunque la unidad de la fem es la misma que la de una diferencia de potencial, se trata de conceptos completamente diferentes. Una fem produce una diferencia de potencial pero surge de fenómenos físicos cuya naturaleza no es necesariamente eléctrica

Una fem es un trabajo por unidad de carga, este trabajo no lo realiza necesariamente una fuerza conservativa, mientras que la diferencia de potencial es el trabajo por unidad de carga realizado por una fuerza eléctrica que es conservativa.

Tensión e intensidad

El movimiento de electrones en los conductores se caracteriza con tres magnitudes: tensión, intensidad y resistencia.

La tensión indica la fuerza electromotriz necesaria para que se produzca un flujo de electrones y se mantenga a lo largo del conductor. La tensión se puede comparar en cierto modo a la presión que hace circular el agua por el interior de las tuberías. **La corriente eléctrica** es el número de electrones que atraviesa una sección del conductor en la unidad de tiempo (un segundo). La unidad de medida que corresponde a esta magnitud es el amperio, normalmente representado con su letra A.

Puesto que la carga del electrón tiene un valor pequeño y sería muy complicado contar el gran número de electrones que atraviesa la sección cada vez que hubiera que realizar una medida, se utiliza una unidad de medida para la carga eléctrica más práctica, el culombio. Esta unidad de medida representa una carga positiva equivalente a la carga de $6,24 \times 10^{18}$ electrones. El amperio se puede definir en función de la unidad de medida de carga como la corriente que corresponde a un flujo de carga a través de una sección del conductor de 1 culombio en un tiempo de 1 segundo.

TIPOS DE CORRIENTE

Dependiendo de la forma en que se produzca la fuerza electromotriz, la corriente puede ser continua (en un solo sentido) o alterna (es decir, con un sentido que varía muchas veces por segundo). El científico serbocroata Nicola Tesla hizo posible la utilización de la corriente alterna (CA), y su método de producción y distribución de este tipo de corriente se adoptó universalmente, La bobina de inducción que él inventó tomó el nombre de bobina de Tesla. La corriente que se utiliza en los electrodomésticos suele ser alterna. En Estados Unidos la corriente alterna (CA) tiene una frecuencia de 60 hertz, o de 60

ciclos por segundo (significa que cambia su sentido 120 veces cada segundo), mientras que en Europa y la mayor parte de los países la frecuencia de la red es de 50 hertz o de 50 ciclos por segundo (equivalentes a 100 inversiones por segundo). El hertz es la unidad de medida de la frecuencia y corresponde a 1 ciclo por segundo (un ciclo equivale a dos inversiones).

Todas las baterías y algunos generadores (dinamos) proporcionan corriente continua. En cambio, los generadores que se basan en el principio de inducción electromagnética sobre una bobina que gira en un campo magnético producen corriente alterna (CA), debido a que la bobina invierte la polaridad de la fuerza electromotriz inducida cada medio giro.

CORRIENTE ALTERNA (CA.)

Es la corriente que circula permanentemente hacia adelante y hacia atrás, por lo que los electrones van primero en un sentido y después en el otro, como las pelotas de ping-pong en un partido de este juego.

La corriente alterna (CA) es el tipo de corriente más utilizado, ya que se usa en la red de distribución de alta tensión y es la que llega a nuestras casas una vez transformada a baja tensión.

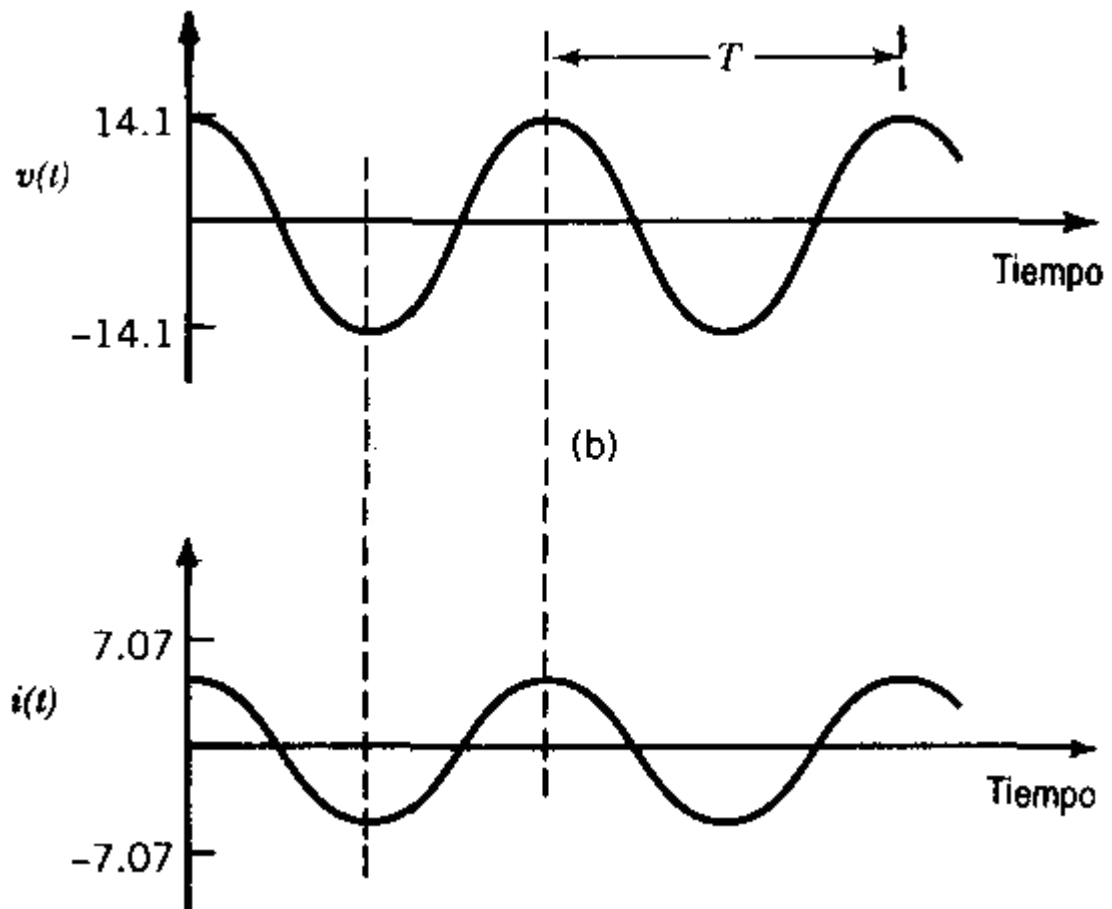
ONDAS DE CORRIENTE ALTERNA (C.A.) SENOIDES

la fuente de voltaje de Corriente Alterna (CA) incluye una pequeña onda seno además de los signos de polaridad.

La figura muestra la forma de la onda del voltaje de 10 V, con su voltaje

instantáneo como una función del tiempo. La onda mostrada es senoidal

Figura 30. Onda Del Voltaje De 10 V



Así, esta misma onda instantánea de voltaje de Corriente Alterna (CA) puede describirse matemáticamente (Usando la función $\text{sen}\theta$ ó $\text{cos}\theta$) o gráficamente. Esta onda senoidal que aparece en las dos terminales de la fuente varía con el tiempo, subiendo y bajando el voltaje de -14.1 a +14.1 V, con una frecuencia

de 60 veces por segundo, cruzando el eje del tiempo (0 V) a razón de 120 veces por segundo.

Se estableció que toda onda senoidal de Corriente Alterna (CA) que fluye por un resistor R produce el mismo efecto térmico medio (potencia) que una de Corriente Directa (CD) igual a la corriente máxima de la Corriente Alterna (CA) dividida por $\sqrt{2}$. Esto también es verdad para un voltaje de Corriente Alterna (CA) a través de R o para el producto del voltaje por la corriente (potencia) y así redefinen:

$$V_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \frac{V_{\text{max}}}{2} \quad (17)$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \frac{I_{\text{max}}}{2} \quad (18)$$

Llamados valores eficaces o valores rms (raíz cuadrática media). Otras formas importantes son las que corresponden a las ondas simétricas triangular y cuadrada, donde los valores eficaces son:

$$\frac{\text{Valor}_{\text{max}}}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

Valor máximo, respectivamente.

El periodo de la onda (cuyo símbolo es T) es el tiempo necesario para que ocurra un ciclo completo; por ejemplo, el tiempo entre los máximos positivos de la. (Un ciclo es un conjunto completo de variaciones de la onda: por ejemplo, una onda de 60 Hz pasa por un ciclo completo en un periodo de

aproximadamente $16.7 \text{ ms} = 1/60 \text{ s.}$) La frecuencia (f) es la razón a la cual el voltaje (o la corriente) sube y baja en ciclos por segundo. Su unidad es el hertz (Hz). Un Hz

es la variación de un ciclo completo por segundo.

En general

$$V = V_{\max} \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (20)$$

$$I = I_{\max} \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (21)$$

El término $2\pi \cdot f$ se llama frecuencia en radianes y se representa por ω .

La expresión más general de una senoide incluye tres dimensiones: magnitud, frecuencia y fase:

$$V = V_{\max} \cdot \cos[(\omega \cdot t) + \varphi] \quad (22)$$

$$I = I_{\max} \cdot \cos[(\omega \cdot t) + \varphi] \quad (23)$$

Aquí, φ se llama ángulo de fase.

Un ángulo φ positivo desplaza la onda a la izquierda en los ejes y uno negativo lo hace a la derecha. Un φ positivo hace que todo suceda más rápido más lejos a la izquierda en el eje.

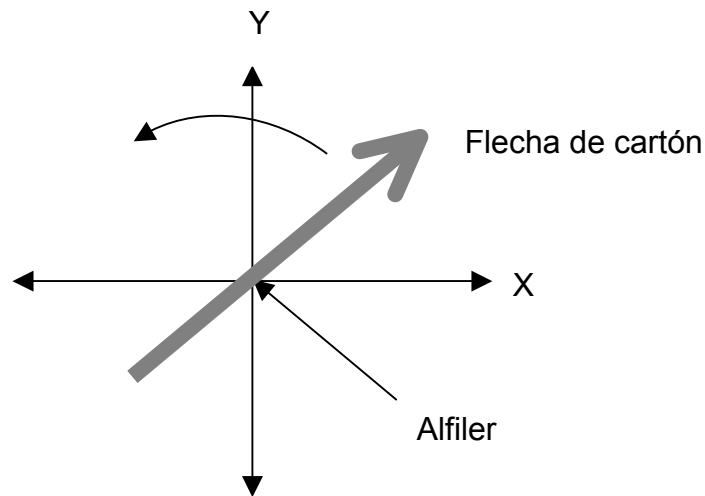
REPRESENTACIÓN FASORIAL

El análisis de las ondas $v(t)$ e $i(t)$ condujo a dos formas de describirlas:

mediante una expresión matemática y por medio de una gráfica en el tiempo. Ambos métodos están relacionados con el voltaje o la corriente instantáneos en función del tiempo.

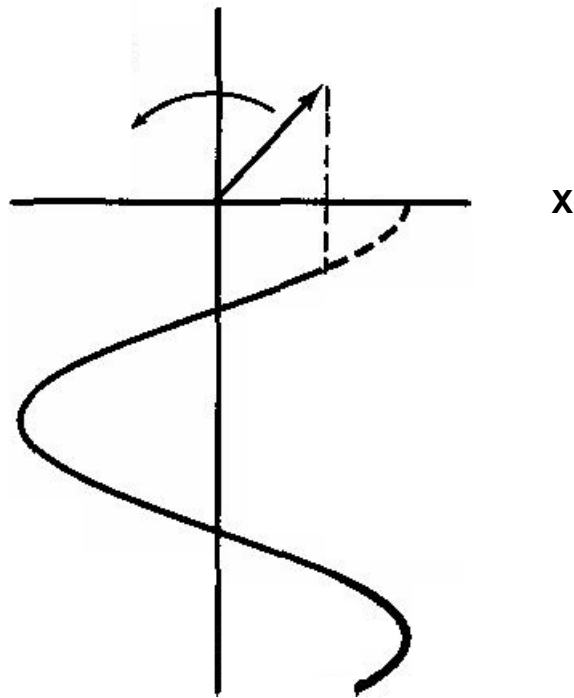
Existen otros dos métodos particularmente útiles para describir las ondas de Corriente Alterna (CA), ambos llamados fasoriales. Para desarrollar estos métodos, primero se traza un conjunto de ejes en un papel (como se muestra en la figura) y después se imagina una flecha, sujeta con un alfiler al origen de los ejes, que se hace girar en sentido contrario al de las manecillas del reloj.

Figura 31. Representación Fasorial



Una vez entendido este movimiento, la idea se puede representar más simplemente con la flecha de la figura 33.

Figura 32. Onda De Corriente Alterna. La Onda Resulta De Graficar Con Respecto Al Tiempo A La Componente "Y" En Cada Instante., Del Favor.



La flecha está girando suavemente con rapidez constante en sentido contrario al de las manecillas del reloj. Considérese la proyección de la punta de la flecha sobre el eje horizontal; esta proyección retrocede y avanza senoidalmente. Midiendo el ángulo (o el tiempo transcurrido) a partir del semieje horizontal derecho, la función es específicamente una onda coseno.

Una gráfica en el tiempo (con el tiempo positivo hacia abajo, como en la figura anterior ilustra la onda producida por la proyección de la punta de flecha sobre el eje horizontal. Si representara una onda de voltaje, por ejemplo, el voltaje sería positivo a la derecha y negativo a la izquierda del origen. También por supuesto, podría representar una onda de Corriente Alterna (CA).

La flecha giratoria llamada fesor genera por proyección la onda de Corriente Alterna (CA), pero más importante que esto, la flecha contiene los tres elementos de la onda de Corriente Alterna (CA). La magnitud máxima de la onda de Corriente Alterna (CA) está representada por la longitud de la flecha;

su frecuencia está representada por la rapidez de rotación en radianes por segundo y su ángulo de fase, por el ángulo de la flecha en $t = 0$.

El resultado de esta clase de transformación (fasor por onda coseno) simplifica mucho el análisis y los cálculos de Corriente Alterna (CA). Existe otra forma de representar un fasor, además de las ilustraciones de las figura anteriores. Para desarrollar una notación matemática se escribe:

$$V_m \cos(\omega * t + \phi) \quad (24)$$

Donde:

V_m : Es el valor máximo de la onda

Φ : El ángulo de fase

$\omega * t$: Produce la rotación de la flecha.

TEORIAS MODERNAS DEL CAMPO ELECTROMAGNETICO

La teoría del campo de Maxwell

Como resultado de sus investigaciones, Michael Faraday contribuyó a nuestro conocimiento del mundo con aportaciones de la misma importancia que las que hicieron los más aventajados científicos del pasado, como Galileo y Newton. Sus numerosos descubrimientos merecieron la admiración de sus coetáneos, quienes no se percataron plenamente del impacto e importancia de su teoría de campos y demás hallazgos. En realidad, hubo solamente un hombre, James Clerk Maxwell que supiera apreciar plenamente la importancia y las posibilidades de las ideas de Faraday. Lo que Maxwell se

encontró delante fue una serie de hallazgos experimentales y unas cuantas ideas (en estado embrionario, pero fascinantes) sobre una teoría general del electromagnetismo y del mundo.

James Clerk Maxwell se encargó de clarificar la teoría de Faraday y de descubrir las leyes del campo. Aunque es cierto que su imponente teoría matemática se basaba en las ideas de Faraday, alteró alguno de los rasgos fundamentales de su concepción. La desviación fundamental de Maxwell respecto a Faraday era su concepto de materia y campo como entes totalmente diferentes.

El modelo mecánico del éter

En su primer trabajo, "On Faraday's Lines of Force" (publicado en 1855-6), Maxwell había desarrollado matemáticamente muchas de las ideas de Faraday. Creía que el campo electromagnético realmente estaba constituido por un éter subordinado a las leyes de la mecánica newtoniana.

El problema de Maxwell se centraba en dar con un modelo del éter del campo electromagnético que incorporara la masa y elasticidad necesarias para la velocidad finita de la inducción y que fuera coherente con los fenómenos eléctricos y magnéticos ya conocidos. Las ideas de Faraday jugaron un papel muy importante en la construcción de dicho modelo, así como los denominados remolinos de Thomson.

El modelo consistía en suponer que la masa de los remolinos depende de la permeabilidad magnética del medio y que la electricidad está constituida por bolitas que separan unos remolinos magnéticos de otros.

El desplazamiento de las partículas eléctricas da lugar a una corriente eléctrica. Mientras pasa corriente, las partículas se mueven de un remolino a otro. Al desplazarse pueden dar saltos y provocar una pérdida de energía que aparece en forma de calor; pero mientras están girando, no hay rozamiento entre la partícula y el remolino, y no se producen pérdidas de energía. En principio, parece posible mantener indefinidamente un campo magnético. Por último, supuso que los remolinos magnéticos están dotados de elasticidad.

El modelo mecánico del campo electromagnético de Maxwell es uno de los más imaginativos pero menos verosímiles que nunca se hayan inventado. Es el único modelo del éter que logró unificar la electricidad estática, la corriente eléctrica, los efectos inductivos y el magnetismo, y a partir de él, Maxwell dedujo sus ecuaciones del campo electromagnético y su teoría electromagnética de la luz. La deducción de las ecuaciones es enrevesada y asombrosa.

Cada una de las magnitudes mecánicas y eléctricas está específicamente representada por un aspecto del modelo mecánico:

- ✓ En un medio conductor, la intensidad de corriente en un punto (\mathbf{j}) viene representada por el número de bolas que pasan por ese punto en un segundo. Estas partículas eléctricas rozan contra los remolinos adyacentes y les transmiten un movimiento de rotación.
- ✓ La intensidad de la fuerza magnética (\mathbf{H}) está representada por la velocidad del remolino en su superficie. Su dirección viene dada por la del eje del remolino.

- ✓ La energía del campo magnético viene dada por la energía cinética de los remolinos en movimiento, que es proporcional a $\propto H^2$.
- ✓ El estado electrónico o potencial vectorial (\mathbf{A}) está relacionado con el momento de los remolinos.
- ✓ Maxwell supuso que el desplazamiento total (\mathbf{D}) es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre la bola; la constante de proporcionalidad es análoga a la constante dieléctrica o capacidad inductiva específica del medio.
- ✓ La energía del campo eléctrico se corresponderá con la energía elástica de las partículas deformadas.
- ✓ La carga está producida por una presión mutua ejercida por las partículas eléctricas. La presión es análoga al potencial eléctrico o tensión.

Maxwell dedujo sus ecuaciones en etapas:

1. La de los remolinos para explicar los efectos puramente magnéticos.
2. La de las bolas eléctricas para deducir la relación entre corriente y magnetismo, incluida la inducción.
3. La de la elasticidad de las bolas para explicar los fenómenos de la carga estática.

Cada una de estas etapas fue un paso hacia la coronación de su obra: la teoría electromagnética de la luz.

Maxwell había conseguido expresar la velocidad de las ondas transversales del mecanismo en términos de la capacidad inductiva específica y la permeabilidad magnética del medio. La rigidez estaba relacionada con la capacidad inductiva específica, y la densidad del medio con la permeabilidad

magnética; se sabía que el cuadrado de la velocidad de las ondas transversales era la razón entre ambas. Midiendo la capacidad inductiva específica y la permeabilidad magnética de un medio, podía predecirse la velocidad de las ondas de inducción.

Sabía también, que su modelo era poco satisfactorio desde cualquier punto de vista físico o metafísico. Por lo que se decidió a considerar el problema de liberar las ecuaciones y la teoría electromagnética de la luz de su modelo mecánico.

La interpretación operativa

La interpretación "operativa" se basa en dos postulados: las magnitudes electromagnéticas se consideraban fundamentales, y el campo es una realidad independiente. La materia y el campo se consideran como entes distintos e interpenetrantes.

En su obra "A Dynamical Theory of Electromagnetic Field", se limitó a usar las fórmulas de la mecánica analítica con el fin de establecer las ecuaciones del campo y deducir de ellas las consecuencias relativas a la teoría de la luz. A partir de que toda energía es de tipo mecánico, consideró como potencial la energía de los fenómenos electrostáticos y como cinética la de las modificaciones magnéticas y las corrientes. Logró así, describir las relaciones entre las magnitudes del campo electromagnético inspirándose en las ecuaciones de Lagrange relativos a los movimientos de un "sistema con ligaduras".

Las ecuaciones formuladas por Maxwell en dicha obra son:

Tabla 1. Ecuaciones de Maxwell

<p>A. Ecuación de la corriente total : $\vec{T} = \vec{J} + \frac{d\vec{D}}{dt}$ (27)</p>
<p>B. Ecuación de la fuerza magnetica : $\mu\hat{H} = \text{rot } \vec{A}$ (28)</p>
<p>C. Ecuación de la corriente eléctrica : $\text{rot } \hat{H} = 4\pi\vec{T}$ (29)</p>
<p>D. Ecuación de la fuerza elctromotriz: $\vec{E} = \vec{v} \times \mu\vec{H} - \frac{d\vec{A}}{dt} - \text{grad}\psi$ (30)</p>
<p>E. Ecuación de la elasticidad eléctrica : $\vec{E} = K\vec{D}$ (31)</p>
<p>F. Ecuación de la resistencia eléctrica : $\vec{E} = -r\vec{J}$ (32)</p>
<p>G. Ecuación de la electricidad libre : $\rho + \text{div } \vec{D} = 0$ (33)</p>
<p>H. Ecuación de continuida d : $\frac{d\vec{\rho}}{dt} + \text{div } \vec{j} = 0$ (34)</p>

Maxwell había demostrado a partir de dichas ecuaciones que las ondas electromagnéticas se propagan a la velocidad de la luz, y que dicha velocidad depende de la permeabilidad magnética y de la constante dieléctrica del medio. Demostró también, que la onda magnética debe ser transversal. Así

pues, había conseguido obtener los mismos resultados que daba el modelo mecánico, sólo que utilizando únicamente sus ecuaciones.

A partir de dichas ecuaciones, dedujo nuevas propiedades de las ondas electromagnéticas.

1. Estableció la relación entre la conductividad y la transparencia. Cuanto más conductor es un material, más absorbe la luz, y así, explicaba que los conductores sean opacos, y los medios transparentes buenos aislantes.

2. Calculó la energía de los componentes eléctricos y magnéticos de las ondas electromagnéticas, y descubrió que la mitad de esta energía era eléctrica y la otra mitad magnética.

3. En el caso de un rayo de luz polarizado en un plano, la onda eléctrica se propaga junto a la magnética dispuestas perpendicularmente entre sí. Señaló también que la resultante de la tensión electromagnética sobre un cuerpo irradiado con luz es una presión.

La concepción del campo electromagnético de Maxwell se puede resumir en la siguiente cita "La teoría que propongo puede, por consiguiente, llamarse teoría del campo electromagnético por que trata del espacio en las proximidades de los cuerpos eléctricos y magnéticos, y puede llamarse teoría dinámica por que supone que en dicho espacio hay una materia en movimiento que produce los efectos electromagnéticos observados." Añadía, que la materia no puede ser "grosera", que hay que concebirla como una

materia etérea semejante a la que asegura la propagación de la luz o del calor radiante.

ECUACIONES DE MAXWELL

Tabla 1. Ecuaciones de Maxwell

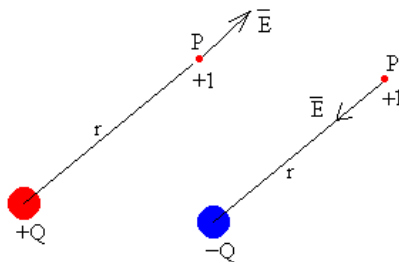
<p>A. Ecuación de la corriente total : $\vec{T} = \vec{j} + \frac{d\vec{D}}{dt}$</p>
<p>B. Ecuación de la fuerza magnetica : $\mu\hat{H} = \text{rot } \vec{A}$</p>
<p>C. Ecuación de la corriente eléctrica : $\text{rot } \hat{H} = 4\pi\vec{T}$</p>
<p>D. Ecuación de la fuerza elctromotriz: $\vec{E} = \vec{v} \times \mu\vec{H} - \frac{d\vec{A}}{dt} - \text{grad}\psi$</p>
<p>E. Ecuación de la elasticidad eléctrica : $\vec{E} = K\vec{D}$</p>
<p>F. Ecuación de la resistencia eléctrica : $\vec{E} = -r\vec{j}$</p>
<p>G. Ecuación de la electricidad libre : $\rho + \text{div } \vec{D} = 0$</p>
<p>H. Ecuación de continuida d : $\frac{d\bar{\rho}}{dt} + \text{div } \vec{j} = 0$</p>

CAMPO ELECTRICO

Concepto de campo eléctrico de una carga puntual

Es más útil, imaginar que cada uno de los cuerpos cargados modifica las propiedades del espacio que lo rodea con su sola presencia (puede atraerlos o repelerlos) presentándose así, zonas del espacio en las que se ejercen fuerzas entre cargas eléctricas u otros cuerpos cargados eléctricamente. Con base en la figura anterior supongamos, que solamente está presente la carga Q , después de haber retirado la carga q del punto P . Se dice que la carga Q crea un campo eléctrico en el punto P (Es decir que la carga Q puede ejercer atracción o repulsión sobre el punto p). Al volver a poner la carga q en el punto P , cabe imaginar que la fuerza sobre esta carga la ejerce el campo eléctrico creado por la carga Q . Cada punto P del espacio que rodea a la carga Q tiene una nueva propiedad (la posibilidad de ser atraído o repelido por la carga Q), que se denomina campo eléctrico E . Dicho de otra forma el campo eléctrico producido por una carga Q en un punto P es la fuerza (de atracción o repulsión) por unidad de carga (q) que la carga Q ejercería sobre una supuesta carga (q) ubicada en el punto P . La unidad de medida del campo en el Sistema Internacional (S.I.) de unidades es el N/C.

Figura 50. Campo Producido Por Una Carga "Q" En Un Punto "P" Ubicado A Una Distancia "R" De Ella.



En la figura, hemos dibujado el campo en el punto P producido por una carga Q positiva y negativa respectivamente.

Se dice entonces que una carga Q produce un campo eléctrico a su alrededor (Fuerza por unidad de carga supuesta q) y que es el campo el que ejerce una fuerza cuando se ubique a una carga dada en los alrededores de la carga Q.

Concepto de Diferencia de potencial Eléctrico

Diferencia de Energía Potencial:

Cuando se quiere separar (o unir) una carga Q de (o con) otra q, una distancia r a lo largo de una trayectoria dada, se debe aplicar una fuerza suficiente para vencer la fuerza de atracción (o de repulsión) entre las dos cargas; a medida que se ejerce esta fuerza a lo largo de la trayectoria dada, se realiza un trabajo o se gasta una cierta cantidad de energía, llamada energía potencial.

Diferencia de potencial Eléctrico:

Del mismo modo que hemos definido el campo eléctrico, el potencial es una propiedad del punto P del espacio que rodea la carga Q.

La diferencia de potencial eléctrico entre dos cargas Q y q, separadas una distancia r, es la energía potencial por unidad de carga que se requiere para separarlas o unir las.

De manera que el potencial del punto P ubicado a una distancia r de una carga Q es la energía por unidad de carga positiva (supuesta q) que se requeriría para separarla (o unirla) de (o con) la carga supuesta q ubicada en P.

La diferencia de potencial eléctrico se representa por V , su unidad de medida en el Sistema Internacional (S.I.) de unidades es el volt (V).

Se Dice entonces que una carga Q produce un campo eléctrico E a su alrededor (Fuerza por unidad de carga supuesta q) y que es el campo el que ejerce una fuerza cuando se ubique una carga dada, en los alrededores de la carga Q .

Movimiento en un campo eléctrico

Cuando una partícula cargada está en una región donde hay un campo eléctrico experimenta una fuerza igual al producto de su carga por la intensidad del campo eléctrico

$$F = q \cdot E \quad (35)$$

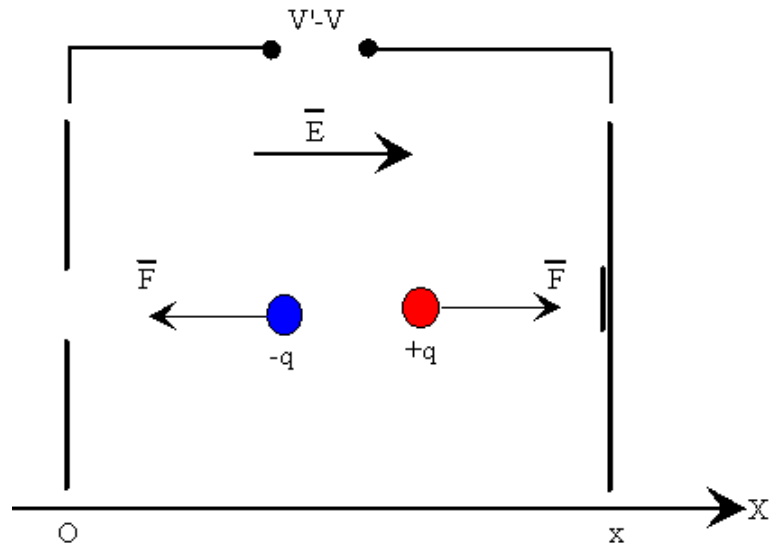
q: Carga sometida al campo eléctrico.

E: Intensidad del campo eléctrico.

F: Fuerza que experimenta la carga ante el campo eléctrico.

- Si la carga es positiva experimenta una fuerza en el sentido del campo
- Si la carga es negativa experimenta una fuerza en sentido contrario al campo

Figura 51. Fuerza "F" Que Experimenta Una Carga "Q" Al Ser Sometida



A Un Campo "E".