

**PROPUESTA PARA LA ACTUALIZACION DE LAS PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO DE MÁQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS DE LA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE**

**MARTHA LUCIA CASTRO IDROBO  
JOHNSI ALEXANDRA CASTRO RODRÍGUEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECANICA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

**PROPUESTA PARA LA ACTUALIZACION DE LAS PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO DE MÁQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS DE LA  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE**

**MARTHA LUCIA CASTRO IDROBO  
JOHNSI ALEXANDRA CASTRO RODRÍGUEZ**

**Trabajo de grado para optar el titulo de Ingeniero Electricista**

**Directora  
ROSAURA CASTRILLON  
Ingeniera Electricista**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÉTICA Y MECANICA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELÉCTRICA  
SANTIAGO DE CALI  
2007**

**Nota de aceptación:**

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para Optar al título de Ingeniero Electricista.

**Ing. DIEGO ALMARIO**

**Jurado**

**Ing. YURI LOPEZ URIANOV**

**Jurado**

Santiago de Cali, Junio 04 de 2007

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo no se hubiera llevado a cabo sin la participación directa o indirecta de algunas personas.

Queremos destacar el nombre de la Ingeniera Rosaura Castrillón, quien nos guió durante la realización de este proyecto, con ella, el del Ingeniero Enrique Quispe, quienes nos han permitido acrecentar conocimientos al delegarnos gran cantidad de información de importante ayuda para cumplir nuestros objetivos inicialmente planteados.

De igual importancia han sido la paciencia, comprensión y apoyo de nuestras familias, quienes han sacrificado innumerables noches y fines de semana a sabiendas de que la elaboración de este trabajo es importante para nuestra realización profesional.

Diego Polo, además, nos colaboró con la realización de las prácticas de laboratorio con gran dedicación y abnegación.

***A mis padres:***

Orlando y Bertha Nelly  
A mi tía:  
Maria Lucia

Por ayudarme a dar este paso  
y acompañarme en cada una  
de las etapas vividas.

Martha

Dedicada con amor y  
gratitud a mis padres:

Flavio y Gilma

A quienes les debo,  
entre otras muchas  
cosas, la increíble  
experiencia de vivir.

Johnsi

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>GLOSARIO</b>	
<b>RESUMEN</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>17</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>18</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL</b>	<b>18</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>18</b>
<b>3. CAPITULO I. ESTADO DE LAS GUIAS DE LABORATORIO DE LA ASIGNATURA CONVERSION DE LA ENERGIA II</b>	<b>19</b>
<b>4. CAPITULO II. LINEAMIENTOS DE LOS CONTENIDOS PROGRAMATICOS EN LA ASIGNATURA DE MÁQUINAS ELECTRICAS.</b>	<b>23</b>
<b>4.1 CONTENIDOS</b>	<b>24</b>
<b>4.2 ACCIONES</b>	<b>25</b>
<b>4.3 COMPETENCIAS ESPECÍFICAS</b>	<b>25</b>
<b>5. CAPITULO III. METODOLOGIA DE LAS PRÁCTICAS</b>	<b>28</b>
<b>6. CAPITULO IV. DESCRIPCION DE LOS MODULOS</b>	<b>31</b>
<b>7. CAPITULO V. PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>	<b>40</b>
<b>7.1 INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS</b>	<b>40</b>

<b>7.2 ENSAYOS DE AISLAMIENTO</b>	<b>50</b>
<b>7.3 PRUEBAS A MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS</b>	<b>57</b>
<b>7.4 PRUEBAS A GENERADORES SINCRÓNICOS</b>	<b>67</b>
<b>7.5 PRUEBAS A MOTORES SINCRÓNICOS</b>	<b>81</b>
<b>7.6 ACOPLA EN PARALELO DE GENERADORES SINCRÓNICOS</b>	<b>86</b>
<b>7.7 CARACTERÍSTICAS DE CARGA EN GENERADORES DC</b>	<b>91</b>
<b>7.8 CARACTERÍSTICAS TORQUE Y VELOCIDAD PARA MOTORES DC</b>	<b>106</b>
<b>7.9 MOTOR MONOFÁSICO</b>	<b>116</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
<b>9. RECOMENDACIONES</b>	<b>122</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>123</b>

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Pénsum 1985	20
Tabla 2. Pénsum 1995	20
Tabla 3. Pénsum 2005	21
Tabla 4. Horas/Prácticas – 1	22
Tabla 5. Horas/Prácticas - 2	22
Tabla 6. Prácticas comúnmente realizadas en algunas universidades indagadas.	26
Tabla 7. Máquinas de inducción rotor devanado	43
Tabla 8. Máquinas de inducción jaula de ardilla	45
Tabla 9. Máquina síncrona	46
Tabla 10. Máquina DC	47
Tabla 11. Selección de Tensión	51
Tabla 12. Valores mínimos de resistencia de aislamiento	52
Tabla 13. Valores de coeficiente de absorción dieléctrico	52
Tabla 14. Valores recomendados para el Índice de Polarización.	52
Tabla 15. Medición de resistencia.	99



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Análisis Pénsun vs Horas	21
Figura 2. Modulo motor de inducción	32
Figura 3. Modulo motor de fase partida	32
Figura 4. Máquina sincrónica	33
Figura 5. Motor monofásico	33
Figura 6. Máquina DC	34
Figura 7. Acople DC sincrónico	34
Figura 8. Carga resistiva monofásica	35
Figura 9. Carga capacitiva monofásica	35
Figura 10. Carga inductiva monofásica	35
Figura 11. Carga inductiva trifásica	36
Figura 12. Carga resistiva trifásica	36
Figura 13. Carga capacitiva trifásica	37
Figura 14. Meghometro	37
Figura 15. Torquímetro	38
Figura 16. Tacómetro	38
Figura 17. Modulo de disección de máquinas	39
Figura 18. Tipos de máquinas AC	41
Figura 19. Máquina de inducción rotor bobinado	44
Figura 20. Máquina de induccion rotor jaula de ardilla	45
Figura 21. Máquina Síncrona	46
Figura 22. Máquina DC	47
Figura 23. Motor de inducción	50
Figura 24. Gráfica Kt vs Temperatura	53
Figura 25. Conexión Meghometro motor	55

<b>Figura 26. Motor de Induccion 2</b>	<b>58</b>
<b>Figura 27. Diagrama del círculo</b>	<b>60</b>
<b>Figura 28. Medición de resistencia</b>	<b>61</b>
<b>Figura 29. Ensayo en vacío</b>	<b>62</b>
<b>Figura 30. Motor de Induccion con carga</b>	<b>63</b>
<b>Figura 31. Circuito equivalente</b>	<b>65</b>
<b>Figura 32. Máquina síncrona</b>	<b>68</b>
<b>Figura 33. Curva <math>E_0</math> vs <math>I_{exc}</math></b>	<b>69</b>
<b>Figura 34. Diagrama fasorial</b>	<b>71</b>
<b>Figura 35. Generador síncrono en vacío</b>	<b>72</b>
<b>Figura 36. Generador síncrono con carga</b>	<b>74</b>
<b>Figura 37. Curvas en V motor síncrono</b>	<b>83</b>
<b>Figura 38. Máquina DC</b>	<b>88</b>
<b>Figura 39. Excitación Independiente</b>	<b>90</b>
<b>Figura 40. Excitación Paralelo</b>	<b>94</b>
<b>Figura 41. Excitación serie</b>	<b>95</b>
<b>Figura 42. Excitación compuesta</b>	<b>95</b>
<b>Figura 43. Acople 1</b>	<b>96</b>
<b>Figura 44. Resistencia máquina DC</b>	<b>96</b>
<b>Figura 45. Polaridad y conexiones</b>	<b>96</b>
<b>Figura 46. Conexión Generador independiente</b>	<b>97</b>
<b>Figura 47. Conexión Generador serie</b>	<b>98</b>
<b>Figura 48. Conexión Generador paralelo</b>	<b>100</b>
<b>Figura 49. Conexión Generador compuesto</b>	<b>101</b>
<b>Figura 50. Acople DC – DC</b>	<b>102</b>
<b>Figura 51. Conexión Motor serie</b>	<b>103</b>
<b>Figura 52. Conexión Motor paralelo</b>	<b>109</b>
<b>Figura 53. Conexión Motor compuesto</b>	<b>111</b>
<b>Figura 54. Control de Velocidad</b>	<b>112</b>
<b>Figura 55. Acople 2</b>	<b>113</b>

<b>Figura 56. Puesta en paralelo de dos generadores</b>	<b>114</b>
<b>Figura 57. Conexiones Motor monofásico</b>	<b>121</b>

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo B. Tabla de Referenciación de contenidos temáticos de la materia de máquinas eléctricas de diferentes universidades en el mundo.</b>	<b>127</b>
<b>Anexo C. Tabla de Referenciación de prácticas de laboratorio de la materia de máquinas eléctricas de diferentes universidades en el mundo.</b>	<b>134</b>

## GLOSARIO

**CORRIENTE DE ABSORCIÓN (IA):** corriente que resulta de la polarización molecular y del flujo de electrones, la cual se divide con el tiempo de aplicación de la tensión, con una intensidad decreciente, desde un valor comparativamente alto hasta casi cero, y depende del tipo y condición del material de adherencia usado en el sistema de aislamiento.

**CORRIENTE DE CONDUCCIÓN (IG):** corriente que es constante en el tiempo, que pasa a través del aislamiento en masa desde la superficie conectada a tierra hasta el conector de alta tensión, y que depende del tipo de material de adherencia usado en el sistema de aislamiento.

**CURVAS EN V DE MORDEY:** gráfica de la corriente del inducido en función de la corriente de excitación a potencia constante del motor síncrono.

**ÍNDICE DE POLARIZACIÓN (PI):** variación con el tiempo, en el valor de la resistencia del aislamiento. Cociente de resistencia del aislamiento en el tiempo (t2) dividido Resistencia del aislamiento en el tiempo (t1). Si los tiempos (t1) y (t2) no se especifican, se asume que son 10 minutos y 1 minuto, respectivamente. Los valores de 15 minutos en adelante, se asumen en segundos.

**ÍNDUCTOR (EXCITACIÓN O CAMPO):** devanado que tiene por misión crear un flujo entre el entrehierro.

**INDUCIDO:** devanado que recibe el flujo del inductor y se inducen en el corrientes que se cierran por el circuito exterior.

**MÁQUINAS DE INDUCCIÓN (MÁQUINAS ASÍNCRONAS):** máquinas basadas en el concepto de campo magnético en donde no existe corriente conducida a uno de los arrollamientos, y la velocidad de giro del rotor no es la de sincronismo impuesta por la frecuencia de la red.

**MÁQUINAS SÍNCRONAS:** máquinas eléctricas cuya velocidad de rotación esta vinculada rígidamente con la frecuencia de la red de corriente alterna con la cual trabaja.

**MÉTODO DE POTIER:** método aplicado a las Máquinas síncronas de rotor cilíndrico que trabajan en la zona de saturación, determina el valor de la reactancia de dispersión y la fuerza magnetomotriz debido a la no linealidad de la zona del circuito magnético en que trabaja.

**RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (IRT):** capacidad de aislamiento eléctrico de un devanado para resistir la corriente directa. Cociente de tensión directa aplicado con polaridad negativa, dividido por la corriente en todo el aislamiento de la Máquina, corregido a 40°C, y tomados durante un tiempo específico (t), desde el comienzo de la aplicación de la tensión. Usualmente, el tiempo de aplicación de la tensión es de 1 minuto (**IR1**) o de 10 minutos (**IR10**), sin embargo, se pueden usar otros valores. Los valores de 15 minutos en adelante, se asumen en segundos.

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto, es diseñar y proponer un conjunto de prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas rotativas para la asignatura Conversión de la Energía II, del programa de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Autónoma de Occidente, que sirvan como complemento al aprendizaje de los estudiantes con respecto al nuevo currículo, a la nueva metodología de la enseñanza y a la infraestructura actual con que cuenta el laboratorio de Ingeniería Eléctrica.

Para tal fin, se hizo un análisis de los contenidos enseñados y prácticas de laboratorio realizadas sobre máquinas eléctricas rotativas en algunos pensum de universidades, teniendo en cuenta, entre otros aspectos el número de créditos e intensidad horaria para cada tema. Este análisis, se comparó con La Universidad Autónoma de Occidente teniendo como resultado una propuesta de las prácticas de laboratorio que deberían realizarse. Con base en esta propuesta se realizaron las prácticas de laboratorio con los módulos de trabajo que ofrece la Universidad, para los cuales se hizo una “descripción de los módulos de laboratorio de máquinas eléctricas rotativas”, a la vez se elaboro el diseño de las guías de laboratorio actualizadas para dicha materia.

De tal forma, la propuesta de actualización de guías de laboratorio para máquinas eléctricas rotativas, desarrollada en este trabajo, consta de ocho prácticas a saber:

### Pruebas a Máquinas asíncronas

- Prueba en vacío
- Prueba en corto circuito
- Prueba en carga

### Pruebas a Máquinas sincrónicas

- Prueba en vacío
- Prueba en corto circuito
- Prueba en carga
- Puesta en paralelo de dos generadores

### Motores Monofásicos

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Autónoma de Occidente es una Institución de Educación Superior de carácter privado, cuya misión es la de integrar, con perspectiva internacional, las funciones sustantivas de docencia, investigación y proyección social para contribuir a la formación de personas con visión humanística, creativas y emprendedoras, a la generación de conocimiento y a la solución de problemas del entorno regional, nacional e internacional.

Esta institución para complementar el aprendizaje de sus estudiantes incluye en el contenido programático de ciertas asignaturas de Ingeniería Eléctrica, prácticas de laboratorio. La Universidad cuenta con un laboratorio de máquinas equipado, en el cual se trabajan materias como “conversión de la energía I y II”.

Este proyecto tiene como propósito la actualización de las guías de laboratorio existentes para máquinas eléctricas rotativas, tema que se encuentra específicamente en la materia “conversión de la energía II”. Se trata que estos materiales respondan al nuevo contenido programático y que tengan como referencia normas nacionales e internacionales.

Debido al avance de la tecnología, los equipos eléctricos requieren ser actualizados en el tiempo, de tal forma la Universidad adquirió nuevos equipos de laboratorio, tales como megohmetro, tacómetro, analizadores de red trifásicos y monofásicos sistema de disección de Máquinas, en consecuencia, se pretende incluir, en esta propuesta de actualización de las guías de laboratorio, el uso de estos nuevos equipos, como del resto de Máquinas.



## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Inexistencia en la Universidad Autónoma de Occidente, de guías de laboratorio para máquinas eléctricas rotativas que estén actualizadas de acuerdo a la nueva metodología de la enseñanza, al nuevo currículo asignado a la materia “Conversión de la energía II” y a los equipos recientemente adquiridos.

El problema planteado en el párrafo anterior genera la necesidad de actualizar las guías existentes para prácticas de laboratorio con máquinas eléctricas rotativas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Actualizar, el conjunto de guías de laboratorio para el aprendizaje de las máquinas eléctricas rotativas en el nuevo contenido programático de la asignatura “Conversión de la energía II”, teniendo como parámetros, exigencias de la normativa internacional (IEC, NEMA, NTC) y la infraestructura actual con que cuenta el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la universidad Autónoma de Occidente.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Revisar los procedimientos utilizados en las pruebas de laboratorio de máquinas eléctricas rotativas.
- Identificar en el contenido actual de la asignatura, procedimientos matemáticos y físicos de las máquinas eléctricas rotativas que requieran ser implementados en la guía de laboratorio.
- Realizar las prácticas de acuerdo a los nuevos contenidos programáticos tomando como referencia las normas nacionales e internacionales.
- Hacer que las guías de laboratorio implementadas vayan encaminadas a las nuevas exigencias profesionales e industriales.
- Proporcionar una descripción clara de las pruebas que se realizan a máquinas eléctricas rotativas.

### **3. ESTADO DE LAS GUIAS DE LABORATORIO DE LA ASIGNATURA CONVERSION DE LA ENERGIA II**

Para algunas universidades la enseñanza de la Ingeniería presenta algunos conflictos debido a la continua innovación tecnológica, por tal motivo se deben asumir los cambios de todo tipo, debiendo incorporarse a las tendencias educativas del nuevo milenio.

Desde esta perspectiva es necesario visualizar esta asignatura como punto básico donde se forma al futuro ingeniero electricista en el conocimiento de las máquinas eléctricas.

Con el objeto de dar claridad sobre el contenido y objetivos con los que se relaciona dicho curso, a continuación se dará una breve descripción del mismo, en relación al propósito de la actualización del conjunto de guías de laboratorio existentes.

En este curso, se estudian los fundamentos de las máquinas eléctricas rotativas relacionados con: aspectos constructivos, principio de funcionamiento, campos de aplicación y el análisis de la operación en estado estacionario, de las máquinas más usadas.

Los modelos matemáticos estudiados (circuito equivalente eléctrico) permiten analizar la operación de las máquinas eléctricas (DC, Síncronas y Asíncronas) en estado estable. Así mismo se realizan pruebas de laboratorio que permiten determinar el estado del aislamiento de las máquinas y los parámetros del circuito equivalente eléctrico y el análisis de las pérdidas en dichas máquinas.

Las guías de laboratorio utilizadas actualmente incluyen prácticas como:

- Prueba para evaluación del aislamiento en máquinas eléctricas rotativas
- Pruebas básicas en las máquinas de inducción
- Prueba con carga del motor trifásico de inducción
- Ensayos de vacío y de corto circuito al generador síncrono
- Generador síncrono con carga
- Puesta en paralelo de generadores síncronos
- Motor síncrono

- Ensayos básicos en motores de corriente continua, características de torque-velocidad.
- Característica de carga de generadores de corriente continua.
- Motores de corriente continua
- Motor monofásico en fase partida.

El contenido de las prácticas, presentan como eje central la siguiente estructura: inicialmente expone el objetivo general de la práctica a realizar, luego indica un listado de materiales necesarios para la realización de esta, a continuación se explica con un diagrama el tipo de conexión que se debe efectuar y por último muestra las tablas de datos que se obtienen durante dicha práctica.

Como se puede apreciar, las guías actuales presentan una metodología que no permite realizar un razonamiento de tipo analítico sobre los fenómenos físicos e interpretación de la variación de los parámetros eléctricos de mayor importancia en las máquinas rotativas. Además, no cuenta con referencias de parámetros exigidos por la norma (no se trata que la práctica académica del laboratorio este regulada por la norma, solo se trata de incluir o actualizar la existencia de una norma).

A continuación, se presenta una descripción del tiempo o destinación horaria de las materias conversión de energía I y II así como de las horas destinadas a las prácticas de laboratorio durante años 1985, 1996, 2005.

Tabla 1. Pénsum 1985

	<b>Teoría/ Horas</b>	<b>Labs./ Horas</b>	<b>Total/ Horas</b>	<b>Temas</b>
<b>Conversión 1</b>	48	24	72	Transformadores Máquinas DC Máquinas AC
<b>Conversión 2</b>	48	24	72	
<b>Conversión 3</b>	48	24	72	
<b>Total/Horas</b>	144	72	216	

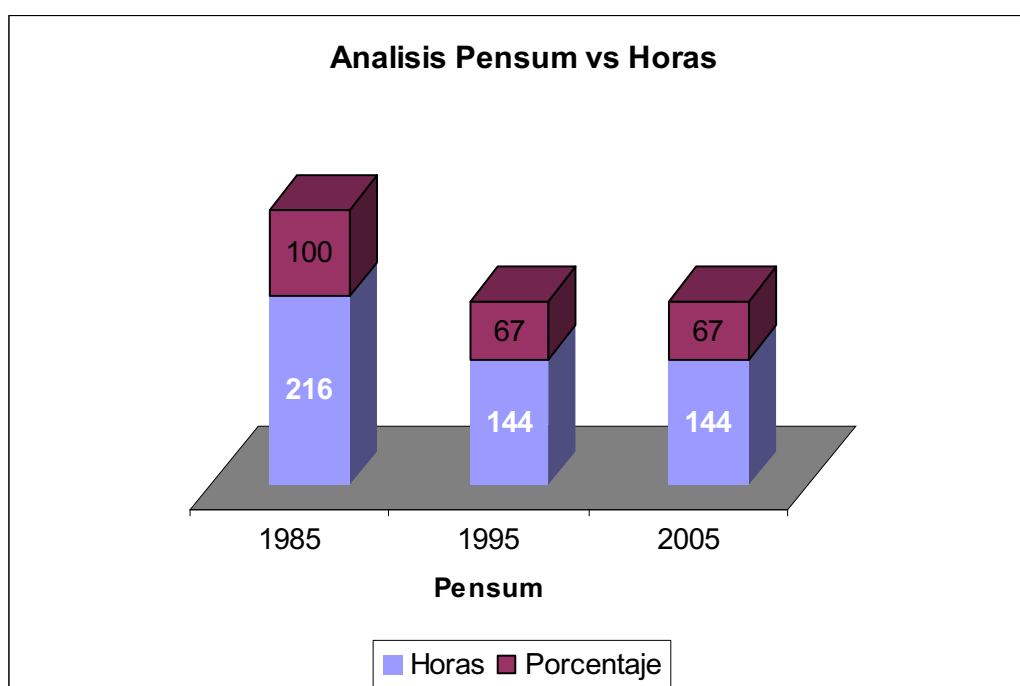
Tabla 2. Pénsum 1995

	<b>Teoría/ Horas</b>	<b>Labs./ Horas</b>	<b>Total/ Horas</b>	<b>Temas</b>
<b>Conversión 1</b>	48	48	96	Transformadores Máquinas AC/DC
<b>Conversión 2</b>	48			
<b>Total</b>	96	48	144	

Tabla 3. Pénsum 2005

	Teoría/Labs/ Horas	Temas
Conversión 1	72	Transformadores
Conversión 2	72	Máquinas DC/AC
<b>Total Horas</b>	144	

Figura 1. Análisis Pénsum vs. Horas



Realizando el análisis de los datos que se presentan en las tablas anteriores se observa que los contenidos programáticos correspondientes a los años de 1995 y 2005, fueron reducidos en un 33% con respecto al contenido programático de 1985.

Teniendo en cuenta que las guías de laboratorio utilizadas actualmente fueron elaboradas para cumplir con los requisitos correspondientes al pensum del año 1985, tomado como referencia la intensidad horaria, equipos existentes en el laboratorio en esa época y además comparando los objetivos planteados para cada una de las prácticas de laboratorio se puede afirmar que son muy ambiciosos para el tiempo con que se cuenta actualmente para la realización de estas. Debido

a lo anterior surge la necesidad de actualizar las guías de acuerdo al nuevo contenido programático, a los nuevos equipos adquiridos por la Universidad y adecuarlas a las normas nacionales e internacionales que rigen para algunas de las prácticas a realizar.

Para realizar una reestructuración de las prácticas de laboratorio, se tendrá en cuenta, algunas tendencias en universidades en el mundo. Es importante identificar claramente los tópicos exigidos por el ACOFI, determinar los alcances y las limitaciones con las que se cuenta en el laboratorio, se deben conocer a cabalidad todos los recursos con que se cuenta.

### Propuesta

Tabla 4. Horas/Práctica 1

<b>Numero de Prácticas</b>	8
<b>Horas por práctica</b>	3
<b>Total Horas/Práctica</b>	24

Tabla 5. Horas/Práctica 2

<b>Total Horas/Práctica</b>	24
<b>Total Horas Práctica/Teoría</b>	72
<b>Total Horas Teoría</b>	48

En la materia Conversión de la Energía I, se dictan temas relacionados a Transformadores y en Conversión de la Energía II, también se dictan temas relacionados a máquinas eléctricas rotativas, pero este segundo es más extenso que el primero y ambos tienen la misma intensidad horaria.

Se plantea, modificar el contenido programático de ambas materias, de tal forma que los dos primeros temas vistos en Conversión de la Energía II, Introducción a las máquinas eléctricas rotativas, funcionamiento y estructura de las máquinas eléctricas rotativas, estuviera incluido en el contenido temático de la materia Conversión de la Energía I al final del curso. De esta manera, los temas incluidos en Conversión de la Energía II serían máquinas asíncronas, máquinas sincrónicas y motores monofásicos. Se trata de lograr mayor profundidad en la teoría de estos temas sin disminuir la profundidad de las máquinas eléctricas estáticas (transformadores) y logrando un equilibrio en las dos materias ofrecidas por la Universidad Autónoma para máquinas eléctricas estáticas y rotativas.

#### **4. LINEAMIENTOS DE LOS CONTENIDOS PROGRAMATICOS EN LA ASIGNATURA DE MÁQUINAS ELECTRICAS**

El cuadro anexo No 1, tiene información de doce universidades de diferentes países sobre los temas que se dictan en el curso de máquinas eléctricas, dicha información se comparó con los temas dictados por la Universidad Autónoma de Occidente y se observa que temas como transformadores, máquinas de corriente continua (generadores y motores), motores de inducción y máquinas sincrónicas (generadores y motores) son los ejes principales de dicho curso. En algunas de estas Universidades, se complementa el curso con temas como motores monofásicos, control de máquinas eléctricas, accionamientos, selección de motores, etc.

La información recopilada, indica que los temas comúnmente vistos en las diferentes universidades en la materia de máquinas eléctricas se encuentran incluidos dentro del contenido programático de las materias Conversión de la Energía I y II de la Universidad Autónoma.

A partir del análisis de algunos de los programas académicos correspondientes a Ingeniería Eléctrica, se relacionan cinco áreas de trabajo, que sirven como referencia para el diseño de las prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas rotativas. De igual manera, se debe tener en cuenta los estudios realizados por el ACOFI (Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería), y el consejo profesional de ingenierías eléctrica, electrónica y profesiones afines, que presentan cinco temas que son la estructura básica de máquinas eléctricas. Conversión de la energía eléctrica, transformadores máquinas de corriente continua, máquinas síncronas y máquinas de inducción. Según los aspectos que se manejan en los estudios realizados por el ACOFI, tales como los conocimientos, los contenidos, la metodología, competencias, y la evaluación; los estudiantes deben desempeñarse efectivamente en ámbito laboral.

La asignatura de Máquinas Eléctricas, se encuentra incluida en el plan de estudios del 2005, está fundamentada en el componente curricular básico de la formación disciplinaria del ingeniero electricista. Dicho curso, brinda al estudiante fundamentos básicos en el aprendizaje de máquinas eléctricas, lo cual requiere del dominio del conocimiento teórico y aplicación de dichos conceptos en la práctica.

A continuación se ilustran los temas, que recomienda el ACOFI para máquinas eléctricas, de una manera detallada.

## **4.1 CONTENIDOS**

**4.1.1 Conversión electromagnética.** Magnetismo y electromagnetismo. Flujo magnético, densidad e intensidad de flujo. Campo magnético, inducción magnética, fuerza sobre un conductor, fuerza electromotriz inducida, ley de Faraday, par. Materiales, simbología, pérdidas, calentamiento. Fundamentos electromecánicos; principios transformador, motor y generador. Clasificación de las máquinas eléctricas. Balance energético.

**4.1.2 Transformadores.** Principio de funcionamiento, partes constitutivas, accesorios. Transformadores monofásicos. Condiciones de operación en vacío y con carga, circuitos equivalentes. Transformadores ideal y real. Transformadores de varios circuitos, transformador trifásico, conexiones internas, autotransformadores, transformadores especiales. Sistema por unidad. Pérdidas, eficiencia y regulación de tensión. Ensayos de vacío y de cortocircuito, protecciones, diagnóstico y mantenimiento, normas.

**4.1.3 Máquinas de corriente directa.** Principio de funcionamiento, fuerza magnetomotriz, tipos de bobinados, tipos de máquinas, acción de conmutación, reacción de la armadura. Generador excitado en forma independiente, características. Motores en derivación, serie y compuesto, características. Arranque, protecciones.

**4.1.4 Máquinas sincrónicas.** Estator y rotor. Fuerza electromotriz generada en CA. Inductancia, circuitos equivalentes. Generador, reacción del inducido, características de funcionamiento, reactancia de eje directo y cuadratura, regulación del voltaje, generadores en paralelo, marcha sincrónica, generación de potencia activa y reactiva. Motor, subexcitación y sobreexcitación, zona de carga, ángulo de torque, potencias del motor, factor de potencia. Condensador sincrónico, curvas en V, características de funcionamiento, régimen transitorio, eficiencia, aplicaciones. Arranque del motor, protecciones, corrección del factor de potencia.

**4.1.5 Máquinas de inducción.** Estator y campo giratorio. Principio de funcionamiento. Motor trifásico, marcha en vacío y con carga, parámetros, circuitos equivalentes, corriente del rotor y del estator, corriente, potencia, factor de potencia, eficiencia, par de arranque, par máximo, diagrama circular, protecciones, usos. Métodos de arranque, condiciones de marcha, protecciones. Motor monofásico, protecciones, usos.



Teniendo en cuenta que el proceso de aprendizaje debe identificar conocimientos, competencias, habilidades y destrezas, como elementos necesarios para llegar a las acciones metas que se mencionaran adelante, es necesario tener ejemplos prácticos, para compararlos y descubrir diferencias y semejanzas con el fin de comprender los nuevos conceptos. A la vez que se adquieran nuevos conceptos, también se comprenderá mejor el comportamiento físico de las máquinas eléctricas.

## **4.2 ACCIONES**

- Calcular, seleccionar y operar transformadores monofásicos y trifásicos, convencionales o especiales.
- Calcular, seleccionar y operar generadores de CD.
- Calcular, seleccionar y operar motores de CD.
- Calcular, seleccionar y operar generadores de CA.
- Calcular, seleccionar y operar motores de CA.
- Evaluar las características típicas de funcionamiento de los diferentes tipos de máquinas eléctricas polifásicas.
- Establecer el reparto de la carga entre generadores sincrónicos acoplados en paralelo.
- Mejorar el factor de potencia de un sistema mediante la utilización de motores sincrónicos.
- Seleccionar la máquina eléctrica más adecuada para una función específica, con base en criterios técnicos.
- Seleccionar y montar los elementos y accesorios necesarios para operar, proteger y controlar las máquinas eléctricas.
- Hacer el montaje y el mantenimiento de máquinas eléctricas.

Se pretende que el estudiante culmine su proceso de formación con las siguientes habilidades (según ACOFI)

## **4.3 COMPETENCIA ESPECÍFICA**

Calcular, seleccionar, operar, evaluar, montar y mantener las máquinas eléctricas utilizadas en sistemas de potencia y en instalaciones industriales.

Realizando este análisis se nota que para este curso existe una base general, en donde se enseñan conceptos estandarizados de máquinas, sin embargo constantemente están surgiendo nuevas metodologías, tecnologías y mejores prácticas por tal motivo se debe estar atento a lo que ocurre para traspasar estas innovaciones a las aulas de clase, con el fin de dar un valor agregado a la educación y formación.

Después del análisis anterior, se observa en el anexo 2, una relación de las prácticas de laboratorio de máquinas eléctricas realizadas en diferentes universidades del mundo.

Se realizó una síntesis de las prácticas de laboratorio de la materia Máquinas Eléctricas en diferentes Universidades que incluyen Ingeniería Eléctrica dentro de sus programas. Con base a lo anterior se concluye que las prácticas que se realizan en la Universidad Autónoma se asemejan en las siguientes pruebas:

Tabla 6. Prácticas comúnmente realizadas en algunas de las universidades indagadas

Pruebas				
Transformadores	vacío	corto circuito	carga	Conexión en paralelo.
Máquinas síncronas (Generador y motor)	vacío	corto circuito	carga	Conexión en paralelo.
Máquinas asíncronas	vacío	corto circuito	carga	
Máquinas de corriente continua (generador y motor)	vacío	corto circuito	carga	

A continuación se relacionan algunas prácticas de laboratorio que no se encuentran dentro de nuestro contenido y son realizadas en otras universidades.

- Seguridad en laboratorios en laboratorio de máquinas eléctricas
- Circuitos de mando y control
- Diseño verificación y seguimiento de máquinas
- Estudio de coordinación de protecciones
- Arranque de motor trifásico con lógica cableada
- Arranque de un motor trifásico con PLC
- Control electrónico de velocidad
- Control de velocidad usando variador de velocidad

Estas diferencias, se deben a la estructura física con la que cuentan dichas universidades, además del número de créditos y horas destinadas para dichas materias.

Como se planteo en el análisis de la tabla 4, se proponen que las prácticas de laboratorio para la materia Conversión de la Energía II, sean:

- Introducción al as máquinas

- Prueba de Aislamiento
- Motor de inducción trifásico: Prueba en vacío, cortocircuito y carga.
- Máquinas asíncronas: Prueba en vacío corto circuito y carga,
- Máquinas de corriente continua (generador y motor): Excitación independiente, autoexcitado, compuesto y serie. Características en carga y vacío.
- Motores monofásicos

Luego de exponer la anterior propuesta, para definir cuales serian las prácticas a realizar en la materia Conversión de la Energía II, en el siguiente capitulo se define la metodología de las prácticas.

## 5. METODOLOGIA DE LAS PRÁCTICAS

En la enseñanza de Máquinas Eléctricas, es necesario realizar pruebas de laboratorio, con el fin de que el estudiante adquiera por sí mismo nuevos conocimientos y habilidades que les serán útiles en su futuro trabajo profesional.

Con el trabajo realizado se pretende que el estudiante obtenga bases para enfrentarse a su futura vida laboral con un análisis más profundo y racional, a su vez, mayor habilidad en la interpretación de los resultados obtenidos en cada prueba.

Las prácticas de laboratorio facilitan el aprendizaje y el logro de los objetivos, el estudiante compara lo que se le enseña en la clase teórica, con lo que está viviendo en el laboratorio. En este aspecto el alumno llega bien preparado a su vida laboral con los conceptos teóricos.

Hasta ahora en los laboratorios de Máquinas Eléctricas se ha utilizado el método en el que se le entregaba al estudiante una serie de prácticas de laboratorio, las que debía desarrollar utilizando como base la técnica descrita en ellas. Las prácticas señaladas se realizaban posteriormente a la explicación de los aspectos teóricos vinculados con las mismas.

Independientemente de que éste método ha resultado útil en la formación de los estudiantes, no ha permitido que se realice el análisis de las prácticas y de posibles situaciones que se puedan presentar en este campo. Esta situación puede mejorar con un diseño adecuado de las prácticas y guías de laboratorio.

Las prácticas de laboratorio de Máquinas eléctricas tiene innumerables beneficios como facilitar el entendimiento de la teoría de esta materia, pero en este momento, debido al cambio en el contenido programático de esta materia, se está utilizando menos tiempo del requerido para realizar estas prácticas. De tal forma se debe buscar un equilibrio entre el tiempo destinado a la realización de montajes prácticos y el dedicado a la parte teórica de los mismos.

El diseño que se presenta en este trabajo tiene los siguientes parámetros:

- Preinforme

En esta etapa el estudiante se prepara, estudiando los aspectos orientados por el profesor, para ello consulta la bibliografía que se recomienda y cualquier otra a la que él acceda por iniciativa propia, además, se identifican todas las posibles variables que encuentre para realizar la prueba y se hace el desarrollo de las preguntas formuladas por el docente.

- Objetivos

En esta etapa se presenta la finalidad de cada práctica.

- Materiales a utilizar.

En esta etapa se enumeran todos los equipos e instrumentos de medida a utilizar en la práctica.

- Marco teórico

En esta etapa, se hace una breve introducción de los temas referentes a la prueba a realizar.

- Procedimiento

En esta etapa se realiza una descripción de la secuencia de pasos a seguir para la realización de la práctica.

- Conclusiones

En esta etapa, el alumno debe exponer su análisis vinculando los resultados obtenidos mediante argumentaciones lógicas y razonables.

Se pretende que con la metodología expuesta anteriormente, el estudiante obtenga un conocimiento claro de la teoría enseñada en clase y realice un análisis experimental de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio. Los aprendizajes teóricos previos se enriquecen o se nutren de los contenidos experimentales obtenidos en el laboratorio, favoreciendo en el estudiante las posibilidades de aplicación de conocimiento a su realidad y a la realidad del entorno.

Reconociendo la importancia del razonamiento de los estudiantes en este punto, es necesario establecer la relación del contexto de las clases teóricas con las prácticas de laboratorio.

Los contenidos de las prácticas corresponden a temas vistos en clase. Por la complejidad de estos, es necesario proponer que el estudiante haga una ampliación de los conceptos con lecturas complementarias, permanente comunicación entre el estudiante - profesor y ejercicios de aplicación.

Con la metodología expuesta anteriormente se pretende que el estudiante alcance las siguientes metas:

- Desarrolle habilidades para efectuar un diagnóstico integrando los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura con la información recopilada en las prácticas de laboratorio.
- Adquiera habilidades para un buen desempeño en la vida laboral.
- Elabore informes en donde se permita comprender la relación de los datos recopilados con el análisis.

Con el fin de alcanzar un aprendizaje significativo, se presenta de manera secuencial, los contenidos de las guías de laboratorio se presentan de manera secuencial, favoreciendo de esta manera una interpretación de los resultados de las prácticas orientadas a la adquisición del conocimiento.

Cada guía de laboratorio tendrá el mismo diseño y la metodología anteriormente expuesta.

En el siguiente capítulo se da una descripción de los módulos de trabajo utilizados en las prácticas de laboratorio de Máquinas eléctricas rotativas.

## **6. DESCRIPCION DE LOS MODULOS**

Para llevar a cabo su misión y facilitar los procesos de enseñanza, aprendizaje, investigación y extensión, con los más altos estándares de calidad, la Universidad Autónoma de Occidente cuenta con recursos físicos expresamente adecuados a la educación universitaria y recursos humanos especializados, en sus respectivas actividades.

Tal como se conciben los estándares de calidad en los programas académicos de pregrado, los medios educativos deben favorecer “el acceso permanente a la información, experimentación y práctica profesional necesarias, para adelantar procesos de investigación, docencia y proyección social”; son elementos que no pueden faltar como soporte en los roles universitarios.

Para tal efecto la Institución, para el efecto cuenta con un laboratorio para Ingeniería Eléctrica acorde con dicha concepción y con la evolución del entorno.

Una de las estrategias para mantener el firme propósito de implementar los laboratorios de la Institución, fue la de aprovechar los cursos de laboratorio para que los estudiantes, bajo la orientación de los profesores, construyeran muchos de los elementos más sencillos que se requerían. Otra estrategia, consistió en fomentar la realización de proyectos de grado que consistieran en construir equipos didácticos que se necesitaran en los laboratorios.

Las guías de laboratorio que se utilizaban para dictar las prácticas en esa época, fueron diseñadas y elaboradas por los profesores de los diferentes programas académicos.

Para los laboratorios de Máquinas eléctricas rotativas, la Universidad cuenta con módulos didácticos que serán descritos a continuación:

### **Módulos Marca Hampdem**

#### **IM-100 Motor de Inducción**

Figura 2. Módulo motor de inducción



Motor trifásico de cuatro polos con rotor jaula de ardilla, 1/3 HP, 1725 RPM, 208VAC, 1.7A, 60Hz, Aislamiento clase B, Temperatura máxima 40°C, protección térmica tripolar de 2.5A.

**MODEL #WRM-100-3A**  
**Wound Rotor Motor**

Figura 3. Módulo Motor de Inducción fase partida



Motor trifásico, cuatro polos, 1/3 HP, 1750 RPM, 208VAC delta o 360VAC estrella, 1.7A, 60Hz, protección térmica tripolar de 2.5A.

**MODEL #SM-100-3**

**Synchronous Machina**



Figura 4. Módulo Máquina sincrónica



Motor trifásico, cuatro polos, conexión estrella delta, 1/3 HP, 1800 RPM, 208VAC/120VAC, 1.7A, 60Hz, aislamiento clase B, protección térmica tripolar de 2.5A.

#### **MODEL MFM-100**

Motor monofásico, 1/3 hp 1725 rpm fase partida, arranque con capacitor.

Figura 5. Módulo Motor Monofásico



#### **MODEL #DM-100A**

**DC Machina**

Figura 6. Módulo Máquina DC

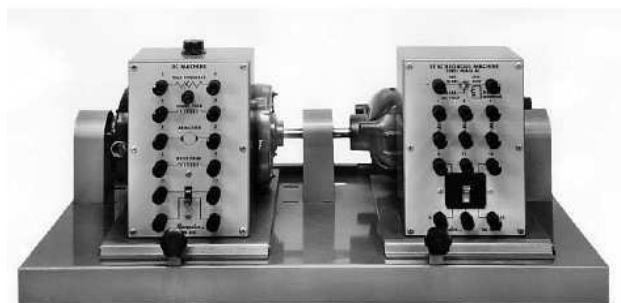


Es una Máquina bipolar, tiene los devanados divididos en devanado shunt, serie y de armadura. Devanado Shunt: Sep. 0.5ª, 125V, aislamiento clase F, temperatura 40°C.

Como motor shunt o serie: 125V, 3.5A, 1/3HP, 1800 RPM.  
Como Generador Shunt o compuesto: 125V, 2A, 1800 RPM.  
Como Generador Serie: 125V, 2A, 1800 RPM.  
Reostato: 300 ohmios, 100W, 0.575A.

## MODULO ACOPLADO

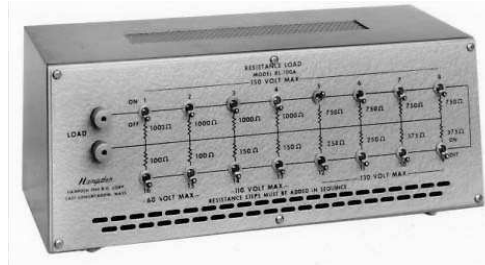
Figura 7. Acople DC Sincrónico



**MODEL #RL-100ª**

**Resistance Load**

Figura 8. Carga resistiva monofásica



Resistencia variable usada para aplicar carga a un generador o un alternador.

### MODEL #CL-100<sup>a</sup>

### Capacitance Load

Figura 9. Carga capacitiva monofásica



Capacitancia variable usada para aplicar carga a un generador o un alternador.

### MODEL #IL-100<sup>a</sup>

### Inductance Load

Figura 10. Carga inductiva monofásica



Inductancia variable usada para aplicar carga a un generador o un alternador. 150V, 250VARs.

### Model IL-100-3

Carga inductiva trifásica, posee switch para variar la carga, se utiliza para simular cargas con factor de potencia en adelante. Range: 1.6 Henrios a 23 Henrios, 60 Hz por fase.

Figura 11. Carga inductiva trifásica



### MODEL RL-100-3

Carga resistiva trifásica, posee switch para variar la carga, el cual podría balancear o desbalancear al simular un calentador o una luz, con un factor de potencia unitario. Rango: 85.7 ohms a 600 ohms por fase.

Figura 12. Carga resistiva trifásica



### Model CL-100-3

Carga capacitativa trifásica posee switch para variar la carga, estos suministrar potencia al sistema y mejoran el factor de potencia. Range: 4MFD to 28MFD por fase.

Figura 13. Carga capacitativa trifásica



### Marca AEMC Instruments

### Meghometro modelo 5050

Figura 14. Meghometro



Este megohmetro incluye el calculo y presentación automática de la relación de absorción dieléctrica (DAR), el índice de polarización (PI) y el valor de descarga dieléctrica (DD). Muestra por display la tensión de ensayo, la resistencia de aislamiento y la corriente de fuga durante el ensayo.

#### **Torquimetro (Ref. TRS300)**

Flutek provee, displays de señales acondicionadas, ó conexión a el sistema portatil Vcal. El sistema portátil Vcal de Flutek es un sistema de verificación fácil de usar directamente por el usuario lo que lo hace ideal para verificaciones en sitio y calibración. La serie Futek TRS esta también disponible con la opción con TEDS/IEEE1451-4

Figura 15. Torquimetro



#### **Tacómetro (Ref. TECPEL1501)**

Este tacometro digital opera con batería es ideal para medir RPM en motores, bombas, ascensores, etc, cuenta con un display LCD de 5 digitos, rango de 10 a 99.999 RPM, distancia de medida 50 a 300 mm, Rs 232 interface opcionall DT - 1501.

Figura 16. Tacómetro



**Marca Lab Volt**

### **MÁQUINAS DESARMABLES MODELO 8020**

Figura 17. Modulo Disección de máquinas



El modelo 8020 de Máquinas desarmables es un sistema didáctico en electromecánica (EMS) que permite realizar experiencias prácticas sobre la construcción y operación de las máquinas rotatorias. Este equipo de capacitación tiene características similares a los equipos industriales. Las máquinas desarmables se ensamblan sin necesidad de herramientas, a partir de componentes como estatores, rotores, armaduras, reóstatos y condensadores. Una vez armadas, las máquinas pueden montarse en módulos básicos que se ajustan perfectamente a todos los puestos de trabajo del sistema EMS de Lab-Volt. Los componentes permiten que el estudiante construya 2 máquinas distintas al mismo tiempo y 15 tipos de máquinas en total.

Después de la descripción de los módulos de trabajo para las prácticas de laboratorio de Máquinas eléctricas rotativas, a continuación en el capítulo IV se hace una descripción de cada una de las pruebas a realizar para la materia Conversión de la Energía II.



## **7. PRUEBAS DE LABORATORIO**

### **7.1 INTRODUCCION A LAS MÁQUINAS ELECTRICAS ROTATIVAS**

#### **Competencia académica**

Máquinas eléctricas: Elementos constitutivos, principio de funcionamiento como motor, datos de placa, descripción de bobinados monofásico y trifásico, sistemas de arranque.

#### **Alcances**

- Conocer la constitución física de las máquinas eléctricas rotativas.
- Conocer los principios de funcionamiento de las máquinas eléctricas rotativas.
- Conocer las especificaciones de la placa de características de la máquina.
- Describir los tipos de bobinados de uso frecuente en máquinas.

#### **Objetivos**

- Identificar las partes que componen una Máquina eléctrica rotativa.
- Clasificar los tipos de Máquinas eléctricas rotativas.

#### **Temas de consulta**

- Principios de funcionamiento de una Máquina eléctrica rotativa.
- Componentes de una Máquina eléctrica rotativa
- Devanados de una Máquina de corriente alterna.

## Equipos a utilizar

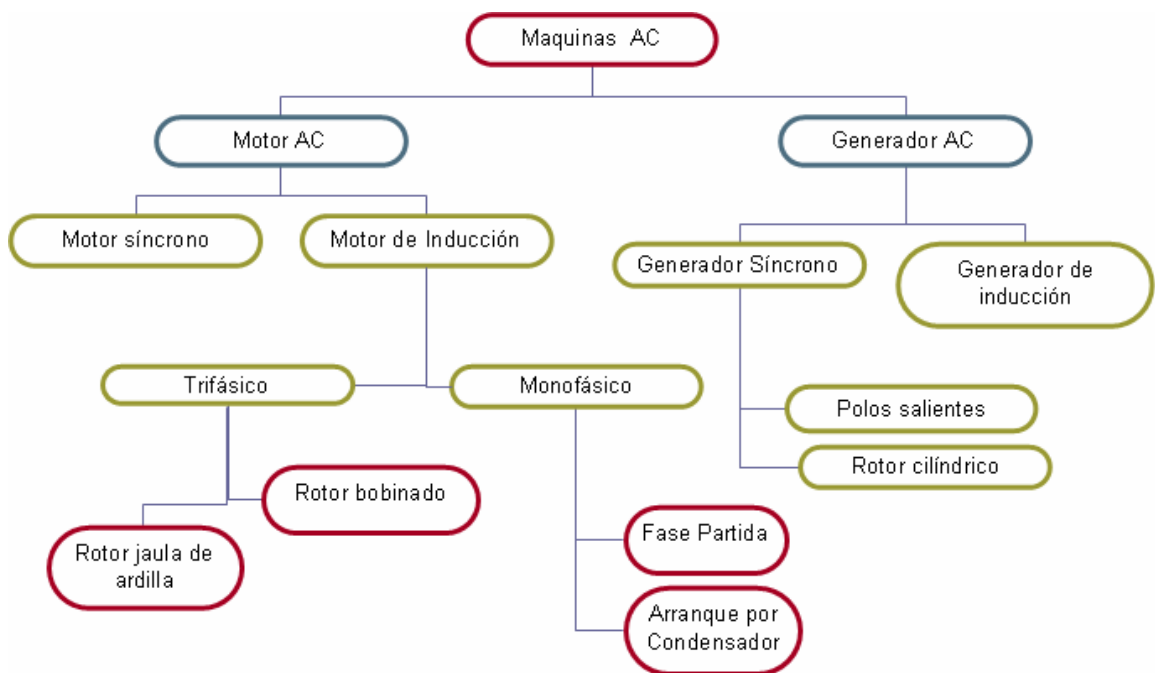
- Modulo de disección de Máquinas (Ver figura No 17)

## Fundamentos teóricos

Las máquinas eléctricas se clasifican en general en dos grupos: máquinas estáticas (transformadores) y máquinas rotativas. Estas últimas se clasifican a su vez en dos subgrupos:

Máquinas de corriente alterna y máquinas de corriente directa. Las máquinas de corriente alterna pueden ser: máquinas sincrónicas o máquinas asincrónicas. Ambos tipos de máquinas pueden ser operadas como motor o como generador.

Figura 18. Tipos de Máquinas AC



## Partes de las Máquinas

Todas las máquinas eléctricas deben tener dos elementos indispensables, estator, y rotor.

**Estator:**

Es hecho de láminas delgadas de acero de alta permeabilidad con el fin de reducir las pérdidas en el núcleo. El interior del estator tiene varias ranuras donde se acomodan los conductores de la armadura (devanado de armadura). Estos conductores se arreglan simétricamente para armar un devanado polifásico balanceado.

**Rotor**

Es la parte móvil de la máquina y está conectada, para el caso de un generador, con una fuente de energía primaria (motor primario) tal como una turbina de vapor o hidráulica. Para el caso de los generadores sincrónicos, el devanado del rotor (devanado de campo) lleva corriente directa con el fin de producir un flujo constante por polo.

**Bobinas:**

Las bobinas son hechas con alambre de cobre para bobinados. RL calibre del conductor, el número de espiras y las interconexiones de los bobinados determinan el tipo de motor.

### **Tipos de Máquinas**

**Máquina síncrona:** En esta Máquina la velocidad del eje es igual a la velocidad del sincronismo, (velocidad a la que gira el campo magnético del entrehierro). Estas Máquinas pueden trabajar como motor o como generador. En el rotor se encuentra una estructura de campo magnético, el cual lleva un devanado excitado por corriente continua, mientras que en el estator, se encuentra la armadura que tiene un devanado trifásico en el cual se genera una Fem. de corriente alterna. La Máquina sincronía puede ser de rotor liso, o de rotor de polos salientes. Las Máquinas de rotor liso son Máquinas de escaso número de polos y de alta velocidad, mientras que las Máquinas de polos salientes son de gran número de polos y de baja velocidad.

**Máquina asíncrona o de Inducción:** En este tipo de Máquinas el flujo de excitación por una fuente de corriente alterna aplicada en el estator y por efecto de inducción electromagnética se tiene corriente alterna en el rotor. Esta Máquina puede usarse como motor o generador, pero su mayor utilización es como motor. Según la forma del diseño del rotor, las Máquinas de inducción pueden ser Jaula de ardilla o de rotor bobinado.

**Máquina DC:** Las Máquinas de corriente continua constan de dos devanados, uno se le denomina inductor y se encuentra ubicado en el estator de la Máquina, el otro se denomina inducido y se encuentra en el rotor, en el caso de que la Máquina se encuentre trabajando como motor, ambos devanados son alimentados por CC, en el caso de que la Máquina este funcionando como generador, se alimenta el inductor con CC y se obtiene en Fem. en el inducido.

En este tipo de Máquinas se obtienen dos diferentes tipos de campos, el primero es generado en el estator, y es campo fijo, el otro es generado por la corrientes que circulan por las espiras del rotor.

Esta Máquina tiene diversos tipos de excitación:

- Excitación independiente: la corriente que alimenta el devanado del inductor es ajena a la propia Máquina y proviene de una fuente externa.
- Autoexcitación: En este caso la corriente de excitación proviene de la misma Máquina, según la forma de obtener la excitación se tienen tres tipos de Máquinas.
  - Excitación Serie. Devanado del inductor en serie con el inducido.
  - Excitación en paralelo: Devanado del inductor en paralelo con el inducido.
  - Excitación compuesta o mixta: Un devanado en serie y el otro en paralelo.

Procedimiento:

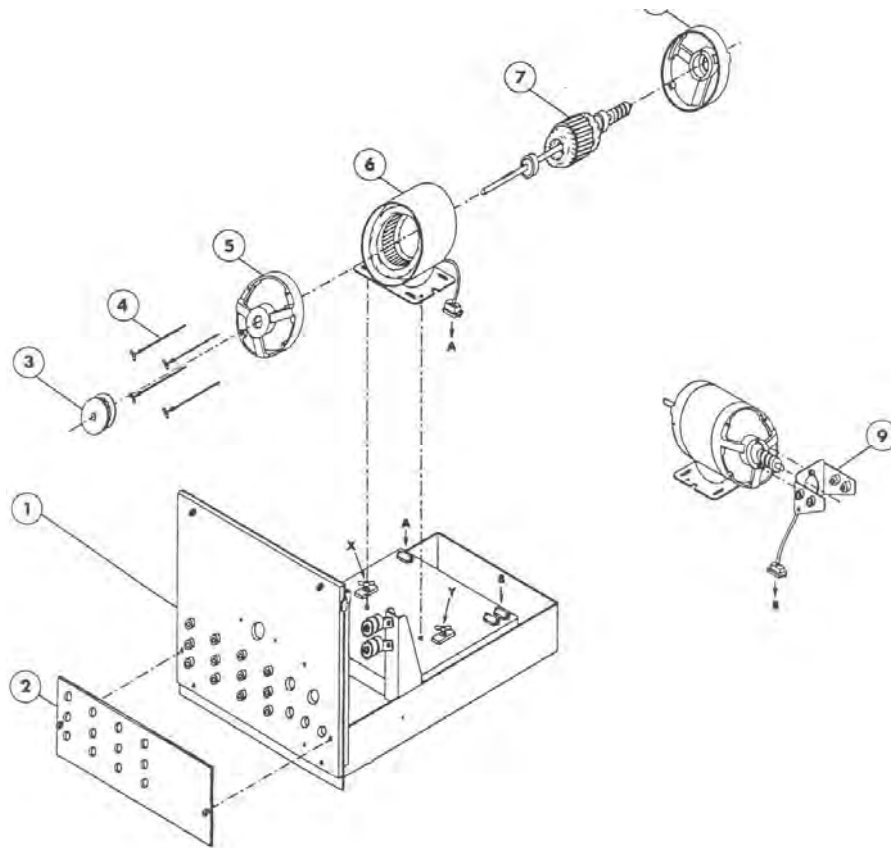
- Identifique visualmente las partes mecánicas, eléctricas y magnéticas de las Máquinas.
- Conecte las terminales del inducido en delta, estrella, mida la resistencia entre fases.
- Identificar el devanado de campo y de armadura de la Máquina de inducción, por medio de una prueba de continuidad.

### **Máquina de Inducción Rotor Devanado**

Tabla 7. Máquina de inducción rotor devanado

Item	Cant	Descripción	Numero
1	1	Modulo de soporte	8163
2	1	Placa frontal	8231-D2
3	1	Polea	25834
4	4	Tornillo cabeza mariposa	25843
5	1	Tapa frontal	23662-7
6	1	Estator	22062-D0
7	1	Rotor	22190-D0
8	1	Tapa posterior	23662-8
9	1	Soporte de escobillas	25842

Figura 19. Máquina de Inducción Rotor Bobinado

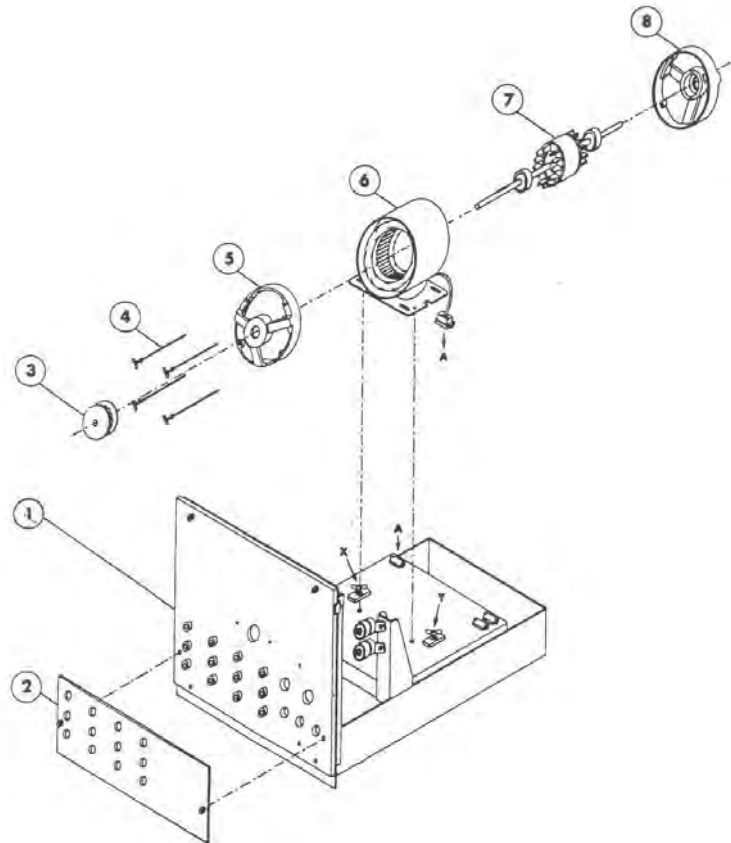


### Máquina de Inducción Jaula de Ardilla

Tabla 8. Máquinas de Inducción Jaula de Ardilla

Item	Cant	Descripción	Numero
01	1	Modulo de soporte	8163
02	1	Placa frontal	8221-D2
03	1	Polea	25834
04	4	Tornillo cabeza mariposa	25843
05	1	Tapa frontal	23662-7
06	1	Estatore	22062-D0
07	1	Rotor	22159-D0
08	1	Tapa posterior	23662-8

Figura 20. Motor de Inducción Jaula de Ardilla

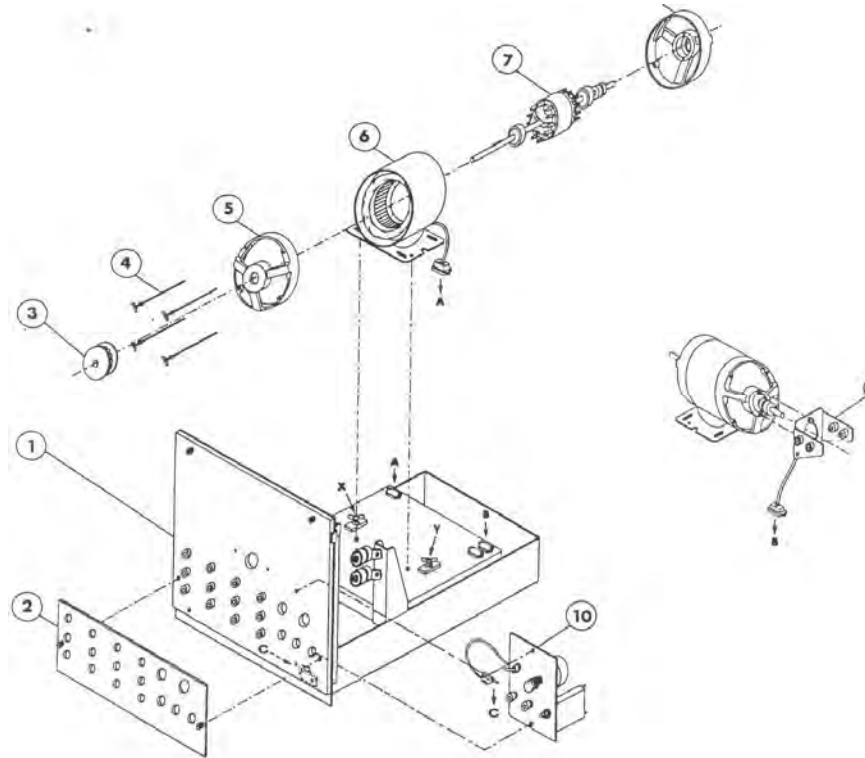


**Máquina síncrona**

Tabla 9. Máquina Síncrona

Item	Cant	Descripción	Numero
01	1	Modulo de soporte	8163
02	1	Placa frontal	8241-D2
03	1	Polea	25834
04	4	Tornillo cabeza mariposa	25843
05	1	Tapa frontal	23662-7
06	1	Estator	22062-D0
07	1	Rotor	22094-D0
08	1	Tapa posterior	23662-8
09	1	Soporte de escobillas	25842
10	1	Potenciómetro 150Ω	25835

Figura 21. Máquina Síncrona

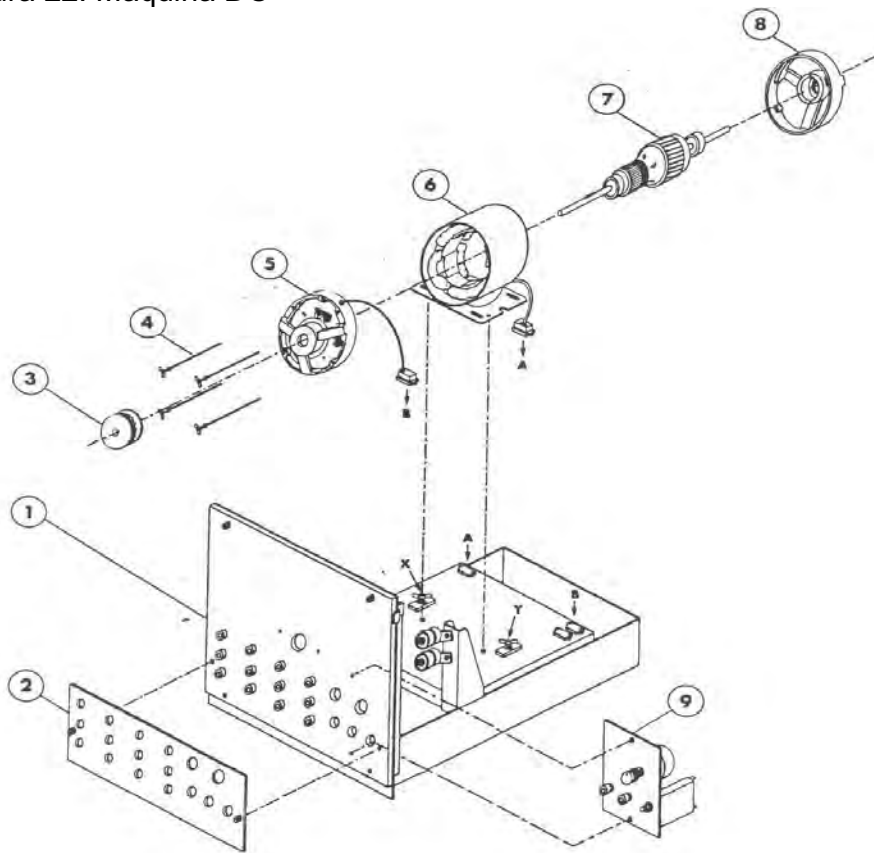


### Máquina de DC

Tabla 10. Máquina DC

Item	Cant	Descripción	Numero
01	1	Modulo de soporte	8163
02	1	Placa frontal	8211-D2
03	1	Polea	25834
04	4	Tornillo cabeza mariposa	23843
05	1	Tapa con porta escobilla	25832
06	1	Estator	22037-D0
07	1	Rotor de CD	22038-D0
08	1	Tapa posterior	23662-8
09	1	Potenciómetro 500Ω	25836

Figura 22. Máquina DC



**DATOS DE LABORATORIO**

- Tome los datos de placa de algunos de los motores del laboratorio.

	Velocidad	Tensión	Corriente	Frecuencia	Potencia
Máquina de Inducción					
Máquina de Síncrona					
Máquina CC					
Motor Monofásico					



- Mida la resistencia entre fases de la figura No 18.

Conexión	AB	BC	CA
Delta			
Estrella			

- Mida la resistencia entre fases de la figura No 19.

Conexión	AB	BC	CA
Delta			
Estrella			

- Mida la resistencia entre fases de la figura No 20.

Conexión	AB	BC	CA
Delta			
Estrella			

- Mida la resistencia de los devanados de la Máquina síncrona figura No 3.

Devanado de Campo	
Devanado de Armadura	

- Mida la resistencia entre fases.

Conexión	AB	BC	CA
Delta			
Estrella			

### Preguntas

- Haga una descripción física y de funcionamiento de cada uno de las partes.
- ¿Como puede distinguirse físicamente el devanado de campo serie del paralelo, en una Máquina mixta?
- ¿Para que sirve el conjunto de Escobillas-Conmutador en una Máquina DC?

- ¿Para que sirve los anillos rozantes en un alternador?
- ¿Qué objeto tiene que el inducido del motor se pueda conectar en delta o en estrella?
- Desde el punto de vista constructivo ¿cual es la diferencia entre una Máquina sincronía y una Máquina de DC?

## **7.2 ENSAYOS DE AISLAMIENTO EN MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS**

### **Competencia académica**

Diagnostico del estado de resistencia de aislamiento de Máquinas eléctricas rotativas.

### **Alcances**

- Proporcionar los lineamientos para evaluar los resultados de las pruebas de resistencia de aislamiento.
- Identificar el incremento del envejecimiento.
- Identificar las causas del envejecimiento.
- Identificar las acciones más adecuadas para corregir estas situaciones.

### **Objetivos**

- Proporcionar una valoración completa del estado del aislamiento de máquinas eléctricas rotativas.
- Prever operaciones programadas de mantenimiento preventivo, reduciendo costos, y posibilidades de averías.
- Dar a conocer las pruebas básicas para evaluar el estado del aislamiento en Máquinas eléctricas rotativas.

### **Temas de consulta**

- NTC 402/03
- Manual de Funcionamiento del Megohmetro

### Equipos a utilizar

- Motor de inducción trifásico
- Megohmetro

Figura 23. Motor de Inducción



### Fundamentos teóricos

Para la evaluación del estado de aislamiento de los bobinados en máquinas eléctricas rotativas (motores y generadores), se realizan las siguientes pruebas.

- Prueba de resistencia de aislamiento
- Prueba de índice de absorción
- Prueba de índice de polarización
- Prueba de índice comparativo
- Prueba de alta tensión en DC

La selección del voltaje para realizar la prueba se hace de acuerdo a la norma ANSI/EASA AR 1000-2001.

Tabla 11. Selección de Tensión

Voltaje Nominal del Motor (V)	Nivel de tensión prueba DC (V)
Menores a 1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12000	2500-5000
Mayor a 12000	50000-10000

Valores mínimos de resistencia de aislamiento, según norma ANSI/EASA AR 1000-2001.

Tabla 12. Valores mínimos de resistencia de aislamiento

Mínimo valor de resistencia de Aislamiento en MΩ	Característica de fabricación del equipo
$V_n (KV) + 1$	Motores fabricados antes de 1970
100	Motores con bobinas preformadas
5	Motores con bobina de alambre redondo y motores con bobinas preformadas de tensión menor a 1KV.

Los valores mínimos para el coeficiente de absorción son los siguientes: Tabla 3

Tabla 13. Valores de Coeficiente de Absorción dieléctrico

Estado Resistencia de aislamiento	Coeficiente de absorción del dieléctrico
Peligroso	0-1.0
Deficiente	1.0 y 1.3
Bueno	1.3 y 1.6
Excelente	1.6 y Superior

Valores recomendados para el índice de polarización:

Tabla 14. Valores recomendados para el índice de polarización

Clase de aislamiento	Mínimo IP
Clase A	1.5
Clase B	2.0

Debido a que la resistencia de aislamiento varía con respecto a la temperatura las mediciones deben referirse a 40°C, aplicando la siguiente fórmula:

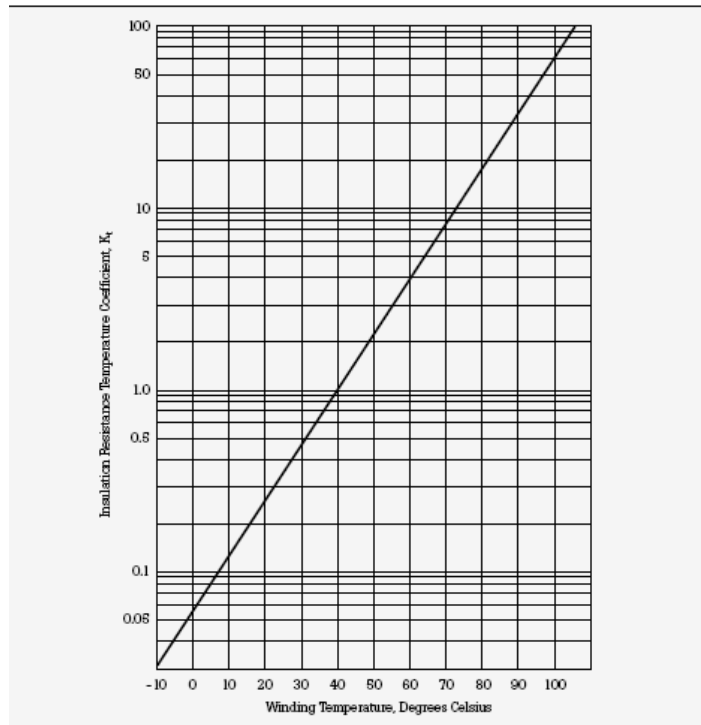
$$R_c = R_t \times K_t \quad (1)$$

Rc: Resistencia de aislamiento en MΩ (Corregida a 40°C)

CT: Resistencia de aislamiento en MΩ (Medida en la temperatura ambiente)

Kt: Coeficiente de corrección a la temperatura.

Figura 24. Grafica Kt vs temperatura



**Prueba de aislamiento:**

Al aplicar una tensión continua al bobinado, el aislamiento queda sometido a un campo eléctrico que hace que los electrones libres se pongan en movimiento hacia las zonas de mayor potencial, esto sería la corriente de conducción. Paralelamente al movimiento de cargas se produce la polarización del dieléctrico (orientación de las moléculas y orbitales en posición del campo).

**Prueba de índice de absorción:**

El voltaje aplicado y el tiempo de prueba son los mismos que los usados en la Resistencia de aislamiento. Para medir esta relación se mide la resistencia de aislamiento en 30 segundos y 60 segundos. Los valores mínimos de coeficiente de absorción se observan en la Tabla 3

**Prueba de índice de polarización:**

La prueba consiste en aplicar la tensión de prueba con fuente fija, entre los terminales y un punto de tierra, durante 10 (diez) minutos, registrando el valor de la Resistencia de Aislamiento en cada minuto, luego se aplica la formula:

$$I_p = \frac{\text{Resistencia } 10 \text{ min}}{\text{Resistencia } 1 \text{ min}} \quad (2)$$

**Prueba de índice comparativo:**

La prueba consiste en aplicar a cada fase del bobinado pulsos de tensión y registrar la respuesta de cada fase superpuestas en el equipo.

En los motores trifásicos la tensión que se debe aplicar en cada par de terminales (1-2,2-3,3,1), de acuerdo a norma ANSI/EASA/AR100-2001, la tensión que se debe aplicar es:

$$V = (2xN_n + 100) \quad (3)$$

El tiempo necesario para realizar esta prueba es el necesario para observar las ondas en el osciloscopio.

Si en la pantalla aparece una sola onda quiere decir que el bobinado esta en buen estado, en el caso que aparezcan dos ondas esto indica una probable falla.

**Prueba de Alta tensión:**

Para realizar esta prueba se recomienda, descargar los condensadores (si el motor los tiene como accesorio) antes de realizar la prueba, después de realizar la prueba se debe descargar el bobinado. El tiempo de prueba para la aplicación de la tensión de los terminales y la carcasa del motor es de 1 minuto.

La tensión de prueba puede ser AC o DC, si la prueba se realiza con DC, se recomienda aplicar 14 veces la magnitud de la tensión AC.

**PROCEDIMIENTO**

- **Medición de la resistencia de aislamiento**

Aplicar 500V, entre terminales y tierra, durante 1 minuto, tomar los valores de la resistencia para 1 minuto y 30 segundos. Al minuto de aplicar el voltaje tomar la temperatura.

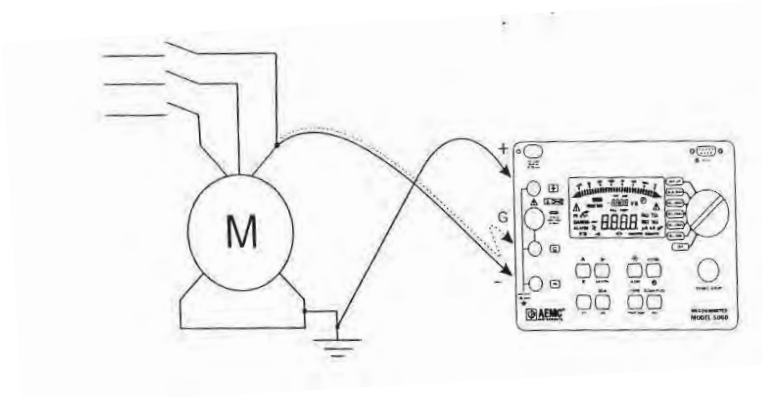
- **Prueba de Índice de Absorción:**

El coeficiente de absorción se obtiene dividiendo el valor de la resistencia de aislamiento tomado al transcurrir 1 minuto entre el valor de la resistencia tomado al transcurrir 30 seg.

- **Prueba de Índice de Polarización:**

Aplicar 500V, entre terminales y tierra, durante 10 minutos, tomar los valores de la resistencia de aislamiento cada minuto, luego aplicar la formula:

Figura 25. Conexión Meghometro Motor



**DATOS DE LABORATORIO**

Resistencia 30 Seg		
Resistencia 1 Min		

IP=  =

IA=  =

**Preguntas:**

- Según los resultados obtenidos en las pruebas, en que estado se encuentra el aislamiento del motor evaluado. Dar recomendaciones para el aislamiento de este motor.



- Utilizando los valores mínimos recomendados de PI o de IR, estime la idoneidad del devanado para la aplicación del ensayo (Numeral 12 NTC 402)
- Que factores afectan la resistencia de aislamiento?.
- Explique que es la intensidad de fuga.
- Explique que es el índice de polarización.
- Que precauciones se deben de tener en cuenta para realizar la prueba de índice de polarización.

## **7.3 PRUEBAS A MOTORES DE INDUCCIÓN TRIFÁSICOS**

### **Competencia académica**

La máquina de inducción: Potencia, par, velocidad, deslizamiento, pérdidas, rendimiento, cálculos, curvas características de par velocidad, tipos de diseños, conexiones de los devanados para las diferentes configuraciones de borneras en motores de una y dos velocidades

### **Alcance**

- Conocer las características electromecánicas de las máquinas eléctricas de inducción
- Comprender las particularidades mecánicas y energéticas de las máquinas de inducción
- Comprender el concepto de rendimiento en la transformación de energía eléctrica en mecánica
- Conocer y desagregar las pérdidas de energía en los diferentes órganos de la máquina de inducción
- Comprender el concepto de deslizamiento en máquinas eléctricas de inducción

### **Objetivos**

- Determinar experimentalmente los valores de los parámetros del circuito equivalente de una Máquina de inducción trifásica a partir de los ensayos de vacío y rotor bloqueado.
- Obtener la característica de par-velocidad (deslizamiento) de la Máquina de inducción en ensayo.

### **Temas de consulta**

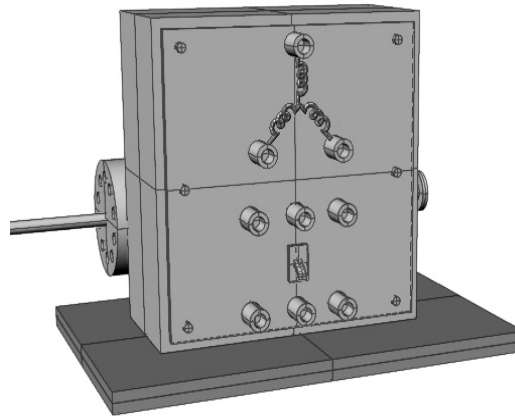
- Estándar IEEE 112 2004
- Construcción del diagrama del círculo.
- Circuito equivalente para motores de inducción trifásico
- Clasificación de motores de inducción
- Curva característica (par-velocidad) de una Máquina de inducción

### **Equipos a utilizar**

- Motor de inducción trifásico Jaula

- De ardilla y Rotor Bobinado
- Multímetro digital
- Watímetro
- Cosenofímetro
- Tacómetro
- Variac Trifásico
- Cables de conexión
- Carga monofásica resistiva

**Figura 26. Motor de Inducción 2**



## Fundamentos teóricos

### Deslizamiento en una máquina de inducción

Una máquina de inducción presenta en el arranque una gran inercia, la cual se va reduciendo a la vez que aumenta la velocidad que desarrolla el rotor. Para la explicación de este fenómeno se debe conocer un concepto denominado deslizamiento, el cual expresa la diferencia de velocidad entre el campo magnético de entrehierro y el rotor; se denota con la letra **s** y generalmente es un valor tratado como porcentaje. Aplicando este concepto, se tiene que en el arranque el deslizamiento es máximo y en vacío es aproximadamente cero; tal valor está determinado por la siguiente ecuación:

$$S(\%) = \frac{n_s - n_m}{n_s} \times 100 \quad (4)$$

$n_s$  = Velocidad del campo magnético (r.p.m.).

$n_m$  = Velocidad mecánica en el eje del rotor (r.p.m.).

La velocidad de campo magnético de una Máquina puede determinarse como:

$$n = \frac{120}{p} \times f_e \quad (5)$$

$f_e$  = es la frecuencia nominal de la Máquina

$P$  = Numero de polos de la Máquina

### **Curva característica par – velocidad de una máquina de inducción.**

Una curva de par contra velocidad muestra el comportamiento de una máquina de inducción, que sirve para determinar el funcionamiento (velocidad y par) cuando se aplica al motor una carga de la cual también se conoce su comportamiento.

### **Obtención de los parámetros de una máquina de inducción.**

Esta clase de máquina rotativa se comporta de manera muy similar a un transformador, ya que la corriente que circula por el rotor es un reflejo de la corriente que circula por el estator y el circuito equivalente puede aproximarse al que este tiene. Esta característica es producida por el efecto de inducción que se presenta entre el estator y el rotor de la máquina, en donde el estator viene representado por el primario y el rotor por el secundario.

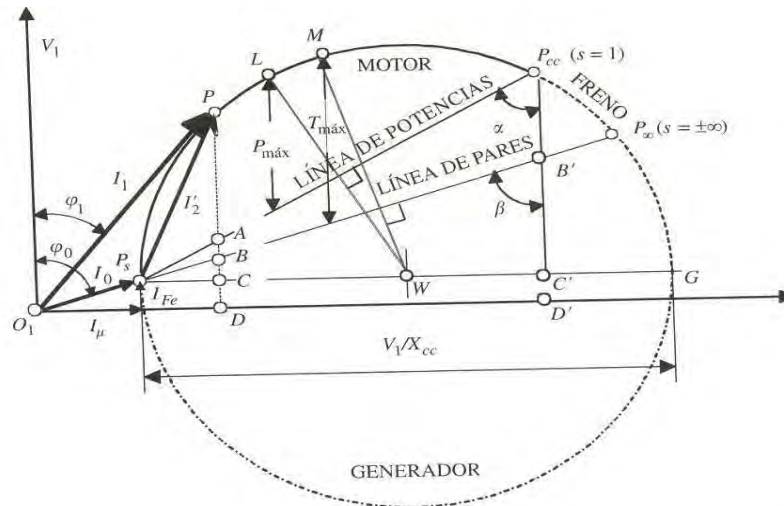
### **Circuito equivalente del motor de inducción**

El circuito equivalente de un motor de inducción tiene como objetivo al igual que en el caso del transformador, el obtener una red que explique el comportamiento de la máquina, pero en la que no aparezca la acción transformadora entre los circuitos de primario y secundario, lo cual trae consigo el reducir las magnitudes de un devanado al otro, generalmente del rotor al estator.

### **Diagrama del círculo.**

Las características de funcionamiento y otras propiedades del motor de inducción se pueden obtener construyendo el lugar geométrico de las corrientes del estator. El diagrama circular permite circularmente de una forma gráfica analizar el comportamiento de las Máquinas de inducción, debido a que no necesita ningún cálculo analítico.

Figura 27. Diagrama del Círculo



## PROCEDIMIENTO

El siguiente laboratorio tiene como finalidad realizar las pruebas para determinar los parámetros del circuito equivalente, analizar el comportamiento de las pérdidas y el rendimiento de la Máquina.

Las pruebas a efectuar son:

### Medición de resistencia estática

Prueba de vacío

Prueba rotor bloqueado

Prueba con carga.

### Medición de resistencia estática.

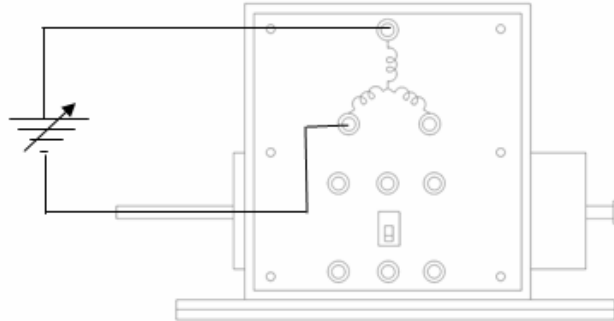
En el desarrollo de este ensayo se obtiene el coeficiente resistivo puro que posee el devanado de estator. Consiste en aplicar un nivel de tensión reducido DC en dos terminales para los cuales se toma datos de tensión y corriente, con la precaución de no sobrepasar la corriente nominal de los devanados.

El valor de la resistencia se obtiene:

$$R_{12} = \frac{E1}{2I} \quad (6) \quad \text{para estator conectado en estrella}$$

$$R_{12} = 1.5 \frac{E1}{2} \quad (7) \quad \text{para estator conectado en triangulo}$$

Figura 28. Medición de resistencia



### Ensayo en vacío.

Considere hacer funcionar el motor sin ninguna carga mecánica en el eje, es decir, la máquina trabaja a rotor libre. Se debe aplicar la tensión asignada, midiendo la potencia absorbida y la corriente de vacío ( $P_0$ ).

$$P_0 = P_{fe} + P_m + P_{CU}$$

$P_{fe}$  = Perdidas en el hierro

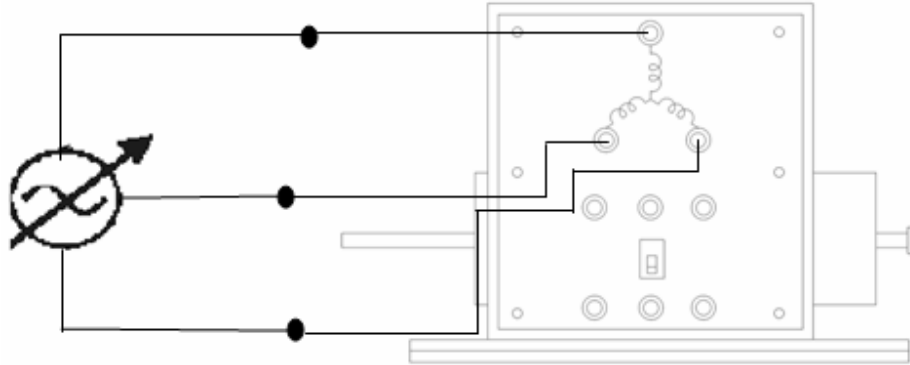
$P_m$  = Perdidas Mecánicas

$P_{cu}$  = Perdidas en el cobre

Este ensayo se realiza aumentando progresivamente la tensión de entrada hasta alcanzar la tensión nominal de la máquina, y realizando las medidas correspondientes en los instrumentos indicados, para este nivel de tensión.

Las perdidas en el hierro varían linealmente, mientras que las perdidas mecánicas se mantienen casi constantes. De este modo podemos hallar las perdidas mecánicas graficando  $P_m + P_{fe}$  en función de la tensión al cuadrado. Esto nos dará una línea recta y el punto de origen de la recta con las ábsidas representa las perdidas mecánicas.

Figura 29. Ensayo en vacío



### Ensayo con el rotor bloqueado.

Este ensayo se realiza manteniendo totalmente fijo el rotor y a su vez aplicando **cuidadosamente a los terminales una tensión reducida AC** hasta lograr que por los devanados circule la corriente nominal y se toman medidas de potencia, voltaje y corrientes que demanda esta prueba.

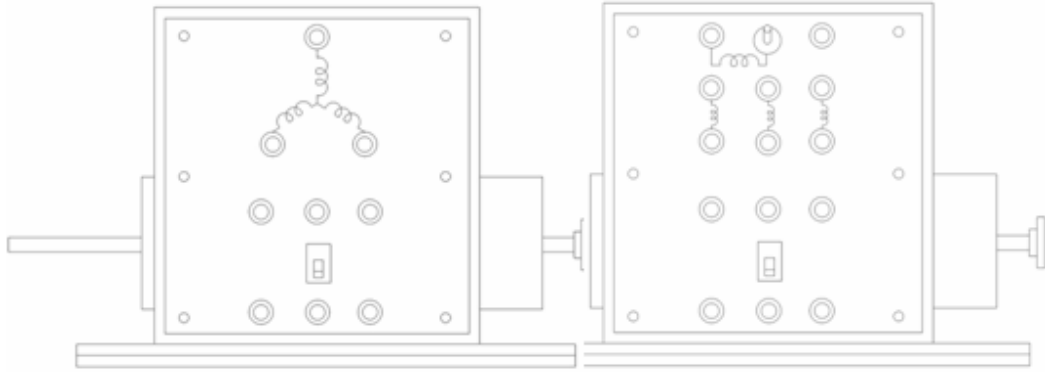
Debido a que circula la corriente nominal por los devanados pueden ocasionarse calentamientos, por lo cual las medidas deben ser tomadas en un tiempo muy pequeño.

Esta prueba permite conocer los parámetros de la rama serie del motor,

### Ensayo del motor con carga Motor de Rotor Bobinado

Para este ensayo el motor se pondrá a trabajar con carga, acoplándolo a un generador de corriente continua el cual alimentara una carga resistiva, variando la excitación del generador, se varia la tensión y la potencia del inducido. Manteniendo constante la tensión, se varia la carga mediante el generador, tomar los siguientes datos. Manteniendo constante la tensión, se varia la carga mediante el generador.

Figura 30. Motor de inducción con Carga



En esta prueba obtendremos los siguientes datos:

- Tensión de línea:  $V_L$
- Corriente de línea  $I_L$
- Potencia Absorbida  $P_{abs}$
- Velocidad  $n$
- Par  $T$

Calcular:

- Deslizamiento  $s$
- Potencia Útil  $P_u$
- Eficiencia  $\eta$
- Factor de potencia  $\text{Cos } \emptyset$

$$P_u = 7.39 \text{ e-4}$$

$$\eta = P_u / P_{abs}$$

$n$  = Velocidad en RPM

$$\text{Cos } \emptyset = \frac{P_{abs}}{\sqrt{3} V_L I_L} \quad (8)$$

### Resultados y cálculos

Responder las siguientes preguntas de los datos obtenidos mediante las mediciones realizadas, o realizando los cálculos correspondientes.



- Tomar los datos de placa del motor

V	I	F	$\omega$	P

- Valor de la resistencia estática:

	Motor Rotor Bloqueado			Motor Jaula de Ardilla		
FASES	VDC	IDC	RDC	VDC	IDC	RDC
AB						
BC						
CA						
Promedio						

- Ensayo en vacío y separación de pérdidas:

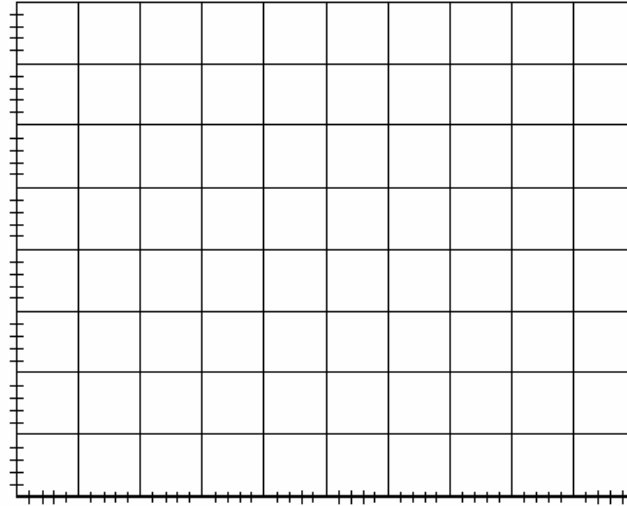
V	$V_0$	$I_0$	$\omega_0$	F

- Pérdidas Mecánicas

Tensión Aplicada	Potencia	Factor de Potencia	Corriente

V	$V^2$	$I_0$	$P_{fe} + P_{mec}$

## Grafica



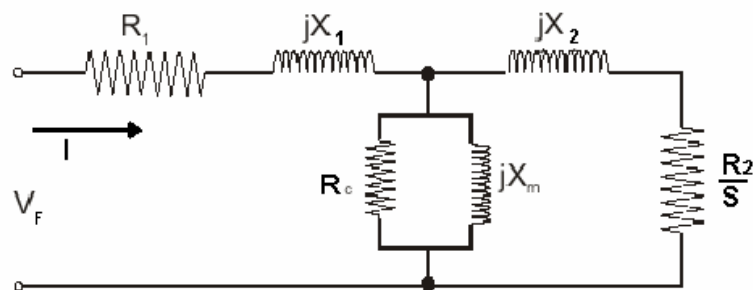
Grafica de Separación de Perdidas

- Ensayo de Rotor Bloqueado

	VRB	IRB	INOMINAL	WRB	FRECUENCIA
Motor Rotor Bloqueado					
Motor Jaula de Ardilla					

- Parámetros del circuito equivalente

Figura 31. Circuito Equivalente



Motor de inducción con carga Resistencia de arranque =  $0\Omega$

	Jaula de ardilla					Rotor Bobinado				
$V_L$										
$I_L$										
$P_{Abs}$										
$V$										
$T$										
$\text{Cos}\phi$										

Motor de inducción con carga Resistencia de arranque =  $R/2 \Omega$

	Jaula de ardilla					Rotor Bobinado				
$V_L$										
$I_L$										
$P_{Abs}$										
$V$										
$T$										
$\text{Cos}\phi$										

Motor de inducción con carga Resistencia de arranque =  $\text{Max } \Omega$

	Jaula de ardilla					Rotor Bobinado				
$V_L$										
$I_L$										
$P_{Abs}$										
$V$										
$T$										
$\text{Cos}\phi$										

- Partiendo de los valores nominales obtenidos en los ensayos de vacío y bloqueo, construir el diagrama del círculo, para la tensión nominal.
- Determinar del diagrama del círculo para la potencia nominal, la corriente, el deslizamiento, el rendimiento, el factor de potencia

## **7.4 GENERADOR SINCRONICO**

### **Competencia académica**

La máquina sincrónica: Constitución física, principio de funcionamiento, el generador sincrónico como componente de un sistema de potencia eléctrico, funcionamiento como generador, características eléctricas, ensayos, comportamiento bajo carga.

### **Alcance**

- Comprender el principio de operación de los generadores síncronos

### **Objetivos:**

- Determinar los parámetros característicos del generador sincrónico, a partir de los ensayos de vacío y cortocircuito
- Comparar los parámetros característicos del generador sincrónico con los valores obtenidos en los ensayos directos, para así sacar conclusiones.

### **Temas de Consulta:**

- Forma de obtener los parámetros del circuito equivalente
- Circuito equivalente para generador sincrónico.
- Triangulo de Potier
- Norma IEEE 115

### **Equipos a Utilizar**

- Motor DC
- Máquina sincrónica trifásica
- Multímetro digital
- Watímetro
- Cosenofímetro
- Tacómetro
- Variac Trifásico
- Cables de conexión
- Carga resistiva

- Carga capacitiva
- Carga inductiva

Figura 32. Máquina síncrona



## Fundamentos teóricos

### Parámetros característicos del generador síncrono

Una máquina síncrona en el funcionamiento como generador, el rotor se impulsa mediante una máquina primaria y se excita con corriente directa, con lo cual la corriente por el devanado ( $I_r$ ) producirá un flujo ( $\Phi_r$ ), que es de magnitud constante, pero que gira con el rotor.  $\Phi_r$  corta los devanados del estator e induce tensiones trifásicas en ellos, pues están desfasados 120 grados eléctricos. Cuando se coloca carga trifásica al estator, circula una corriente ( $I_e$ ) trifásica que produce el  $\Phi_e$  giratorio.  $\Phi_r$  y  $\Phi_e$  reaccionan produciendo un torque que trata de frenar el rotor. El motor impulsor lo debe evitar proporcionando una potencia mecánica.

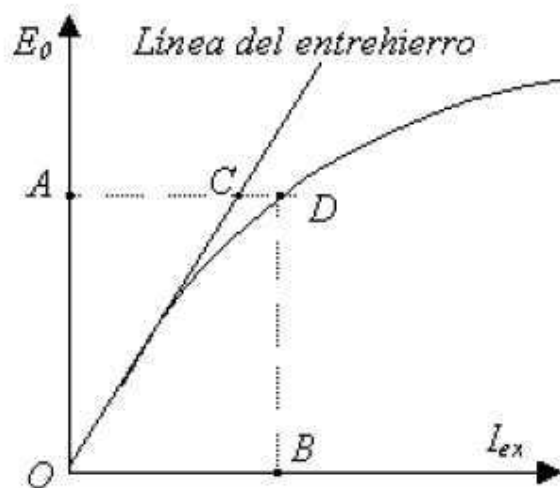
La característica en vacío  $E_e = f(I_f)$  es una curva que expresa la fuerza electromotriz en el inducido de la máquina, en función de la corriente de excitación, siendo nula la corriente del estator y constante la velocidad de la máquina (preferiblemente igual a la velocidad nominal). La característica en vacío expresa también, a distinta escala, su curva de magnetismo.

La característica de vacío estudia la dependencia de la  $F_{em}$  en función de la corriente de excitación  $I_{ex}$ . Para ello, la máquina gira a velocidad síncrona sin carga. Esta curva, para bajos valores de excitación, es relativamente lineal, porque la fmm necesaria para vencer la reluctancia del hierro es prácticamente despreciable frente al aire del entrehierro. En cambio, para grandes valores de excitación, el circuito magnético se satura y tiende asintóticamente a un valor

constante. Si se traza una recta tangente a la curva en su primer tramo esta representa lo que se llama "línea del entrehierro" y determina su característica (recordar que la característica magnética en el aire es lineal). Para inducir una  $E = OA$  es necesario una  $fmm. = OB$ , de la cual  $AC$  es necesaria para hacer circular el  $\Phi$  a través del entrehierro (aire) y  $CD$  en el hierro. Se observa que son mucho más grandes los Amp. necesarios para el entrehierro que para el hierro del circuito magnético. Esta curva sirve para:

- Conocer el grado de saturación del circuito magnético.
- Conocer el límite de  $I_{ex}$ . y con ella el posterior dimensionamiento de la excitatriz.

Figura 33. Curva  $E_0$  vs  $I_{ex}$



**El ensayo en corto** permite averiguar la característica en corto ( $I_{cc}$  vs  $I_{ex}$ ). La potencia consumida por el alternador corresponde en este caso a las pérdidas en el cobre, puesto que la tensión generada es muy pequeña y por lo tanto las pérdidas en el hierro son despreciables. Estas pérdidas en el cobre son aproximadamente iguales a la potencia total consumida por el motor en cada caso, menos la potencia que absorbe el motor cuando el alternador está desexcitado. La resistencia de armadura, si las bobinas están conectadas en Y es:

$$R_a = \frac{Per_{Cu}}{3I_{cc}^2} ; \text{ Per. Cu} = \text{pérdidas en el cobre totales.}$$

Para calcular la impedancia de sincronismo se toman para el mismo valor de la corriente de excitación ( $I_{ex}$ ), la tensión en vacío ( $E_0$ ) y la corriente de corto ( $I_{cc}$ ):

$$Z_s = \frac{E_0}{I_{cc}} \quad ; \text{ para una misma } I_{cc}.$$

La impedancia de sincronismo es variable con la corriente de excitación, debido a que en el ensayo en corto no se presenta el efecto de saturación en el núcleo magnético, ya que por efecto de la reacción de inducido el flujo resultante es muy pequeño.

La reactancia de sincronismo es:

$$X_s = \sqrt{(Z_s^2 - R_a^2)}$$

### REACTANCIAS EN EL ALTERNADOR:

En el se pueden definir tres tipos de reactancias,

**REACTANCIA DE DISPERSIÓN: ( $X_d$ )** Es la debida al flujo magnético producido por las bobinas del inducido, pero que no es común al inductor. Este flujo retorna al estator por el aire. También se llama flujo disperso o de fuga.

**REACTANCIA DE REACCIÓN DE INDUCIDO: ( $X_a$ )** Esta reactancia se debe al flujo producido por el inducido y que afecta al campo inductor. El flujo resultante en cualquier punto, es la suma fasorial del flujo principal producido por el campo y el flujo de reacción de inducido. Por efecto de esta reactancia se produce en el inducido una caída de tensión igual a  $jI X_a$ .

**REACTANCIA DE SINCRONISMO: ( $X_s$ )** Es la suma de las dos anteriores, origina la caída total de voltaje en el inducido, debido a efectos reactivos. Es la reactancia que se va a calcular en este ensayo.

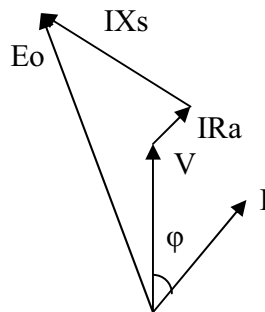
### CÁLCULO DE LA REGULACIÓN.

La regulación de tensión se define como la diferencia de tensión en vacío y en carga del alternador expresada como porcentaje de la tensión en carga.

$$\text{Reg} = \frac{E_0 - V}{V} \times 100\% = \text{alternador bajo carga.}$$

La regulación se puede calcular a partir del diagrama fasorial obtenido de los ensayos en vacío y en corto (ver figura No 4).

Figura 34. Diagrama fasorial



Este método es aproximado, puesto que el valor de la reactancia de sincronismo  $X_s$ , se calculó utilizando el ensayo en corto, en el que no existía saturación, mientras que al voltaje nominal al que se trabaja la máquina siempre hay algo de saturación.

## PROCEDIMIENTO

El siguiente laboratorio tiene como finalidad realizar las pruebas para determinar los parámetros característicos del generador síncrono.

### Las pruebas a efectuar son:

- Medición de resistencia estática
- Prueba de vacío
- Prueba en corto circuito
- Prueba con carga.
- Medición de resistencia estática.

Medir las resistencias ohmicas de los arrollamientos estáticos, utilizando puente de wheatstone.

- Ensayo en vacío.

Para la obtención de las características en vacío se requiere:

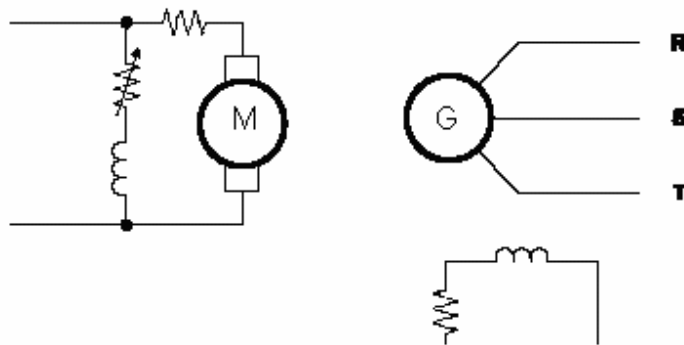
Conectar y poner en operación un motor eléctrico de corriente continua en conexión shunt o subexcitado para proveer potencia mecánica al generador con velocidad variable, como se ilustra en la figura 32.



Antes de arrancar este motor se deben de tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

Verificar que el reóstato de campo del motor de corriente continúa este al mínimo, es decir, en corto. Una vez arrancado el motor se puede ir aumentando la resistencia a medida que se desee aumentar la velocidad.

Figura 35. Generador sincrónico en vacío



Variar la excitación de campo del generador.

Con el generador en vacío y con la velocidad nominal del generador obtener los valores de tensión generada y tabularlos en función de la intensidad de campo  $E = f(I_f)$ . Con el rotor girando a velocidad síncrona y sin carga en el estator, se obtendrán 5 valores entre 0% y el 80% del voltaje nominal, y 5 valores entre el 80% y el 110% del voltaje nominal, variando la corriente de excitación.

Observar la influencia de la variación de velocidad en la tensión inducida y la frecuencia, manteniendo constante la corriente de excitación.

- Ensayo en cortocircuito

En este ensayo se registrara el valor de la corriente de cortocircuito en función de la corriente de excitación  $I_a = f(I_{exc})$  con el rotor girando a velocidad síncrona y el inducido cortocircuitado.

Se obtendrán 5 valores entre 0% y el 110% de la corriente nominal variando la corriente de excitación.

Observar la influencia de la variación de velocidad en la tensión inducida y la frecuencia, manteniendo constante la corriente de excitación.

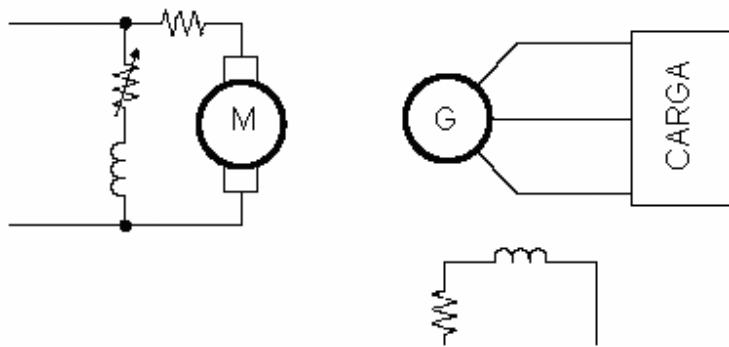
- Ensayo en carga

Para la determinación de la característica en carga se registrarán valores de tensión en función de la corriente de excitación con el rotor girando a la velocidad sincrónica.

Con carga inductiva próxima a la mitad de la corriente nominal se obtendrán 7 valores entre el 30% y el 110% de la tensión nominal, variando la corriente de excitación.

Con carga capacitiva se obtendrán 4 valores entre el 100% y el 110% de la tensión nominal.

Figura 36. Generador sincrónico con carga



- Ensayo característica externa

La característica externa de un alternador (generador síncrono), muestra la variación de la tensión en bornes en función de la corriente de línea para una carga resistiva, inductiva y capacitiva, manteniendo la velocidad y corriente de excitación constante.

Para la determinación de la característica externa se registrarán valores de tensión en función de la corriente de excitación con el rotor girando a la velocidad sincrónica y con el valor de la corriente de excitación nominal constante.

Se obtendrán cinco pares de valores partiendo de la tensión en vacío y luego se deben conectar al inducido cargas inductivas de distinto valor.

Se realizara el procedimiento anterior con carga resistiva y con carga capacitiva, pero para esta última, se obtendrán 3 pares de valores partiendo de la tensión en vacío y luego conectando al inducido capacitores de distinto valor.

### Resultados y cálculos

Responder las siguientes preguntas de los datos obtenidos mediante las mediciones realizadas, o realizando los cálculos correspondientes.

- Tomar los datos de placa del motor.

Potencia:	Velocidad:	Corriente de excitación	Tensión:	Frecuencia:	Tensión de excitación:	Factor de potencia:

- Resistencias de armadura

$R_R$	$R_S$	$R_T$

- Ensayo en vacío

	Tensión (V)	Corriente de Excitación (If) A	Velocidad N (rpm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

- Ensayo de cortocircuito

	Tensión (V)	Corriente de Excitación (If) A	Velocidad N (rpm)
1			
2			
3			
4			
5			

- Ensayo en carga

	Tensión (V)	Corriente de Excitación (If) A	$I_a = I_n / 2$	Velocidad N (rpm)
Carga Inductiva				
1				
2				
3				
4				
5				
Carga Capacitiva				
1				
2				
3				
4				

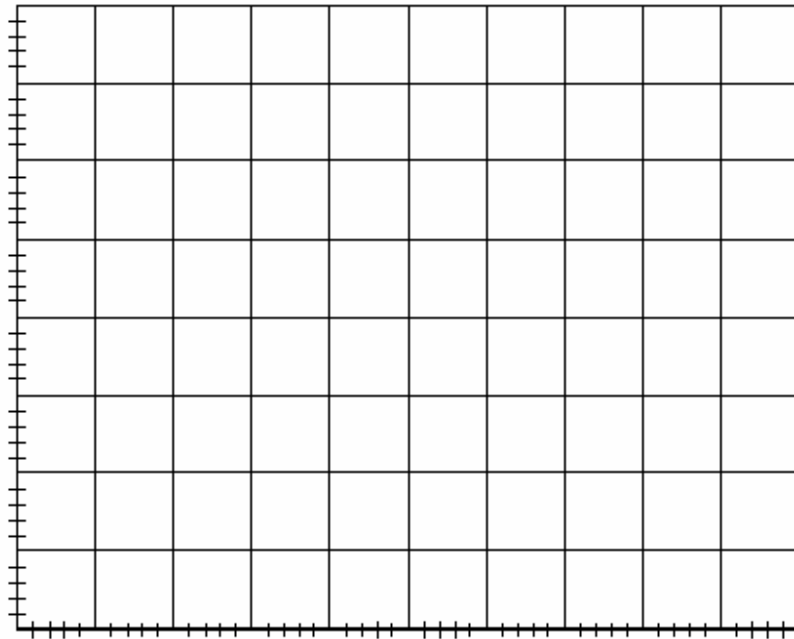
- Ensayo característica externa

	Tensión (V)	Corriente de Excitación (If) A	Ia	Velocidad N (rpm)
Carga Inductiva				
1				
2				
3				
4				
5				
Carga Resistiva				
1				
2				
3				
4				
5				
Carga Capacitiva				
1				
2				
3				

**Parámetros Característicos:**

- Característica de vacío

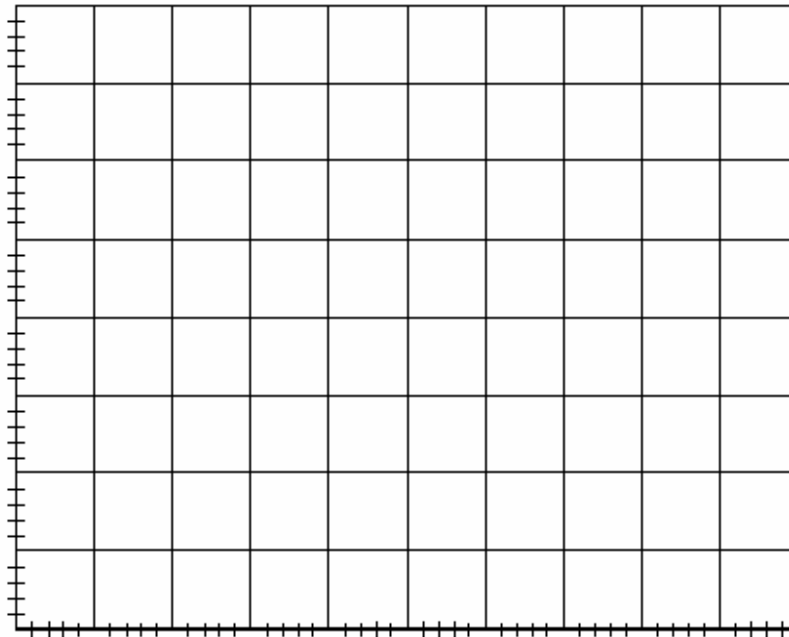
Graficar la característica de vacío  $E_t = f(I_{exc})$  y trazar la recta del entrehierro.



Justificar la forma de la característica de vacío y la influencia de la velocidad.

- Característica de cortocircuito

Graficar la característica de cortocircuito  $E_t = f(I_{exc})$ .



Justificar la forma de la característica de cortocircuito y la influencia de la velocidad.

Dibujar el circuito equivalente y su correspondiente diagrama fasorial para el funcionamiento en cortocircuito por el método de Potier.

Ubicar el punto de Potier, construir el triángulo de Potier y determinar la reactancia de dispersión y el factor de reacción de armadura.

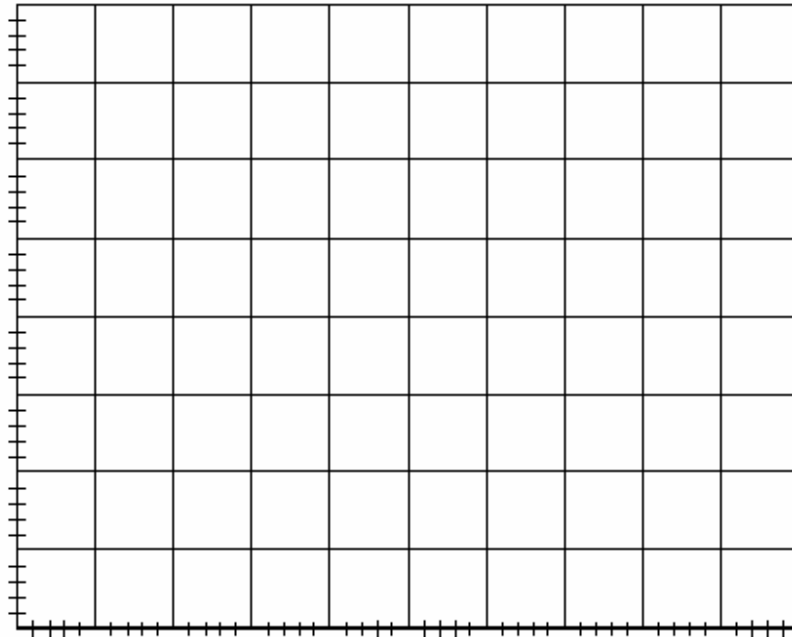
Construir un gráfico en el que se representa la característica de vacío y cortocircuito, el mismo lo utilizaremos para determinar la reactancia de armadura no saturada por fase.

Determinar la reactancia sincrónica saturada  $X_{ss}$  para los siguientes puntos probables de funcionamiento el 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, 110% de la  $U_n$ . Se utilizará el gráfico anterior para el cálculo de la  $X_{ss}$  y con los valores determinados se realizará un cuadro de  $X_{ss} = f(E)$ , luego estos valores se representarán en un gráfico coordinado denominado gráfico N°3.

- **Característica en carga**

Carga Inductiva

Graficar la característica en carga inductiva, partiendo de la curva de vacío mediante el empleo del triangulo de Potier a la corriente utilizada en el ensayo. Comparar esta característica con los valores encontrados en el ensayo.

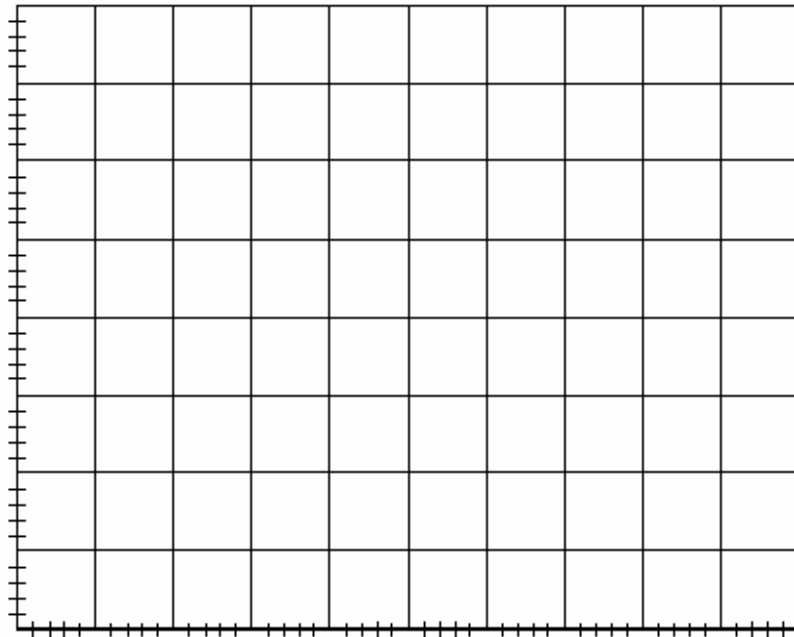


Justificar la forma de la característica en carga inductiva, considerando el estado magnético de la Máquina.

- **Característica externa**

- Graficar la característica externa  $E_t = f(I_{exc})$  para carga inductiva, en el mismo grafico trazar la característica externa para carga resistiva y para carga capacitiva según los datos tomados en la práctica.





- Justificar discrepancias en la tensión en bornes de la Máquina para la misma corriente de excitación y para la misma corriente de armadura, cuando la naturaleza de la carga es diferente (inductiva, capacitiva y resistiva).
- Calcular la regulación para el ensayo indicado:

$$\text{Regulación} = \frac{E_0 - V}{V} \times 100 \quad V. = \text{tensión en bornes del alternador bajo carga.}$$

- Sacar conclusiones generales, indicando todas las observaciones que se consideren necesarias.

## **7.5 MOTOR SINCRONICO**

### **Competencia académica**

La máquina sincrónica: Principio de funcionamiento como motor, comportamiento bajo cambios de carga, el motor sincrónico y la corrección del factor de potencia, el condensador sincrónico, arranque del motor sincrónico.

### **Alcance**

- Comprender el principio de operación de los motores síncronos
- Comprender el concepto de sincronismo

### **Objetivos:**

- Determinar la característica en carga del motor sincrónico.
- Determinar las curvas en V del motor sincrónico.

### **Temas de Consulta**

- Curvas en V del motor sincrónico.
- Métodos de arranque del motor sincrónico.
- Parámetros en carga del generador sincrónico.
- Norma IEEE 115

### **Equipos a Utilizar**

- Motor sincrónico.
- Generador DC
- Multímetro digital
- Watímetro
- Arrancador para el motor.
- Banco de resistencia.

Ver figura No 32

### **Fundamentos teóricos**

Parámetros característicos del motor sincrónico

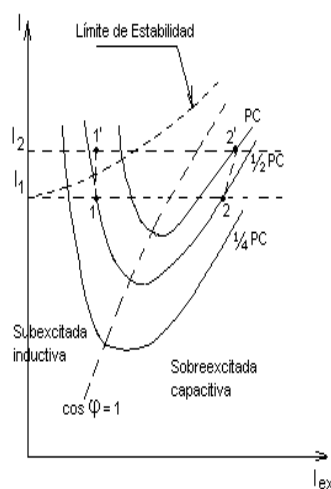
El motor sincrónico se caracteriza por marchar a velocidad constante, por ello se presenta alguna dificultad para su arranque, durante el cual, se debe llevar desde reposo hasta la velocidad de sincronismo.

De los varios métodos existentes para arrancar un motor sincrónico, el más utilizado es el de arranque como motor de inducción que se realiza de la siguiente forma: estando en vacío la máquina, se cortocircuita el campo inductor y se arranca el motor a tensión reducida o por alguno de los otros métodos existentes para los motores de inducción. El motor se pone en movimiento merced a las corrientes inducidas en las bobinas de campo y en el devanado amortiguador, que consiste en una bobina o una jaula montada en el rotor de las máquinas sincrónicas con el fin de amortiguar los campos giratorios inversos, el penduleo de la máquina y de reducir las pérdidas adicionales. Cuando la velocidad llega a un valor cercano al nominal se suministra la alimentación de corriente continua para el campo, con lo cual se establece la velocidad de sincronismo.

Una de las características más importantes del motor sincrónico es la de corriente de línea vs corriente de excitación. Si se mantiene constante la carga del motor y se varia la corriente de excitación, varia el factor de potencia y por consiguiente la corriente absorbida por el motor en la forma mostrada en la figura 37.

Al crecer la excitación, la corriente comienza a disminuir, se hace mínima para factor de potencia 1 y vuelve a aumentar cuando se hace capacitivo. Esta ley de variación es la que reproduce la característica  $I = f(I_{ex})$ , llamada por su forma curva en V. Se puede trazar una familia de curvas, una para cada estado de carga, así en la siguiente figura se han trazado para plena carga ( $P_c$ ), media carga ( $\frac{1}{2} P_c$ ) y un cuarto de ( $\frac{1}{4} P_c$ ).

Figura 37. Curvas en V motor sincrónico



Hay un valor de la corriente de excitación para el cual la corriente de línea es mínima y que corresponde a un factor de potencia unidad, si se aumenta la corriente de excitación por encima de ese valor el motor trabaja como condensador. Por ello el motor síncrono sobre excitado puede utilizarse para mejorar el factor de potencia.

Para bajos valores de excitación la máquina es inductiva (zona izquierda). Para factor de potencia 1, la corriente es mínima, por consiguiente los mínimos determinan la curva de factor de potencia 1. Estos puntos se encuentran desplazados hacia la derecha, porque a mayor carga, más reacción de inducido, por lo tanto se necesita aumentar la excitación.

Para valores grandes de excitación, la máquina es capacitiva (zona de la derecha). Para muy bajos valores de excitación, para cada estado de carga, llega a un punto que la fuerza de atracción magnética no es suficiente para mantener al rotor ligado al campo rodante, la máquina se desengancha y se detiene, estos puntos determinan el límite de estabilidad.

Un motor puede trabajar sub o sobreexcitado, para un mismo estado de carga (punto 1 ó 2 a  $\frac{1}{2}P_c$ ), pero ante una sobrecarga ( $I_2 - I_1$ ), en el primer caso se detiene (punto 1') en cambio en el segundo caso solo pasa a un estado de carga mayor (punto 2').

## **PROCEDIMIENTO**

El siguiente laboratorio tiene como finalidad realizar las pruebas para determinar la característica de carga del motor síncrono.

- **Ensayo en carga**

Arrancar el motor síncrono como motor asíncrono. El arranque se hará con tensión reducida como si fuese un motor asíncrono, tomando las precauciones adecuadas, especialmente para instrumentos y arrollamientos de campo.

Para la determinación de la característica en  $V [I_a = f(I_f)]$  se obtendrán 5 valores inductivos y 5 capacitivos. Este ensayo se hará a la tensión nominal y sin carga en el eje, con la Máquina sincronizada, modificando la corriente de excitación y midiendo esta, la corriente de armadura, las potencias activas y reactivas.

La medición de la reactancia síncrona longitudinal se hará a la tensión nominal sin carga en el eje, con la Máquina sincronizada, midiéndose simultáneamente tensión y corriente de armadura.

La medición de la reactancia síncrona transversal se hará de la misma manera que en el punto anterior, pero invirtiendo y aumentando la corriente de excitación

hasta que el rotor pierda el sincronismo. En este instante se medirá simultáneamente la tensión y la corriente de armadura.

Para la determinación de la característica en V en carga se obtendrán 5 valores inductivos y 5 capacitivos, pero cargando hasta aproximadamente el 50% mediante el generador de continua acoplado. Variar la corriente de excitación y medir potencias y corriente de armadura.

### Resultados y cálculos

Responder las siguientes preguntas de los datos obtenidos mediante las mediciones realizadas, o realizando los cálculos correspondientes.

- Tomar los datos de placa del motor.

Potencia:	Velocidad:	Corriente de excitación	Tensión:	Frecuencia:	Tensión de excitación:	Factor de potencia:

- Ensayo en carga

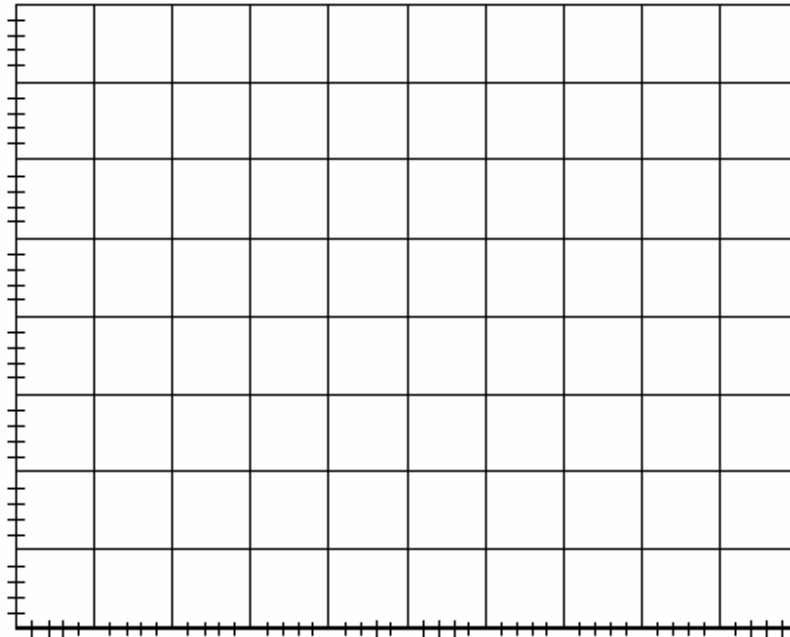
	Corriente de armadura (I <sub>a</sub> )	Corriente de Excitación (I <sub>f</sub> ) A	Potencia activa (W)	Potencia aparente (VA)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Parámetros Característicos:

- Característica en carga
- Describir el método de arranque de un motor sincrónico, la sincronización durante el arranque asincrónico con o sin corriente de excitación. Justificar el

arranque con tensión reducida y la necesidad del uso de una resistencia adicional de descarga.

- Trazar las características en  $V$  del motor. Justificar las formas de las curvas.



- Justificar el método de medición empleado en la medición de las reactancias sincrónicas.
- Sacar conclusiones generales, indicando todas las observaciones que se consideren necesarias.

## **7.6 PUESTA EN PARALELO DE DOS GENERADORES SINCRONOS**

### **Competencia académica**

Paralelo de dos generadores sincronicos: principio de acople de dos generadores sincronicos.

### **Alcance**

- Comprender el principio de acople de dos generadores sincronicos.
- Comprender el concepto de sincronismo

### **Objetivos:**

- Comprender la puesta en marcha y sincronización de un generador sincrónico.
- Observar el funcionamiento bajo distintos tipos de carga, de dos alternadores en paralelo.

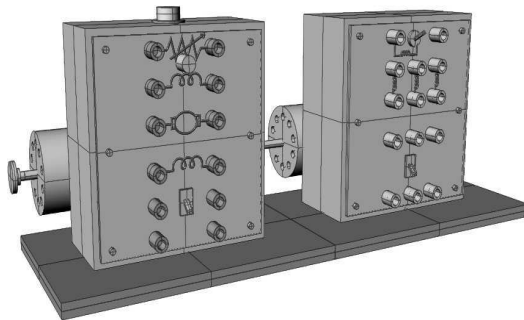
### **Temas de Consulta**

- Condiciones para la conexión de dos generadores sincronicos.
- Sincronismo en un generador.

### **Equipos a Utilizar**

- Motor - generador sincrónico.
- Resistencias de arranque de los motores.
- Reóstatos de campo.
- Reóstatos de excitación
- Tacómetro
- Cables de conexión
- Carga resistiva
- Carga capacitiva
- Carga inductiva

Figura 38. Acople 2



### Fundamentos teóricos

#### Paralelo de dos generadores síncronos

Los terminales de los alternadores de una central eléctrica se conectan a un barraje común. Así mismo en un sistema interconectado todos los generadores operan en paralelo.

Las condiciones para la conexión de dos generadores en paralelo son:

- Los voltajes en los bornes deben ser iguales
- Igual polaridad.
- Igual secuencia de fases.
- Igual frecuencia.

Aun cuando se tengan ya los bornes de los dos alternadores al mismo voltaje con igual polaridad y secuencia de fases, puede subsistir una diferencia de tensión entre los bornes de uno y otro alternador debido a la diferencia de frecuencia entre los dos.

#### Funcionamiento de los dos generadores en paralelo

La carga consta de una parte activa y otra reactiva. En una planta la potencia activa de un generador se aumenta o disminuye por medio del regulador de velocidad de la turbina el cual varía el flujo de agua hacia los álabes si la planta es hidráulica, o de vapor si la planta es térmica.

En esta práctica como la máquina motriz es un motor de corriente continua, para aumentar la potencia activa de un alternador se debe aumentar la velocidad de su motor. Si la carga permanece constante, la frecuencia aumenta y para devolverla a su valor nominal se debe disminuir la velocidad del motor del otro alternador, la



operación total da como resultado una transferencia de carga real de un generador a otro.

Un momento de la carga activa total sobre los dos alternadores provoca una disminución en la velocidad del conjunto, que se restablece a su valor nominal mediante las máquinas motrices. En una central eléctrica esto se logra aumentando el flujo de agua o de vapor a las turbinas, operación que se realiza automáticamente mediante el regulador de velocidad.

La carga reactiva se reparte entre los dos alternadores de acuerdo a las corrientes de excitación. El de mayor corriente de excitación toma más carga inductiva y el de menor toma menos carga inductiva.

## **PROCEDIMIENTO**

En esta práctica se van a estudiar y a realizar los métodos para conectar dos alternadores en paralelo, los cuales son los mismos para el caso de conectar un alternador a un barraje ya energizado.

La práctica también comprende el estudio del funcionamiento en carga de dos alternadores en paralelo, principalmente en lo concerniente al control de los flujos de potencia activa y reactiva.

Para la conexión de dos generadores en paralelo se requiere:

- Fases dispuestas en el mismo orden.
- Igualdad de frecuencia.
- Igualdad de tensión.
- Concordancia de fases.

En el primer punto indica que el orden de fases ha de ser el mismo en todos los generadores que se han de acoplar en paralelo. Por ejemplo, se tiene el generador 1 con fases R1, S1 y T1 y el generador 2 con fases R2, S2 y T2, por consiguiente deberán acoplarse las fases R1-R2, S1-S2 y T1-T2.

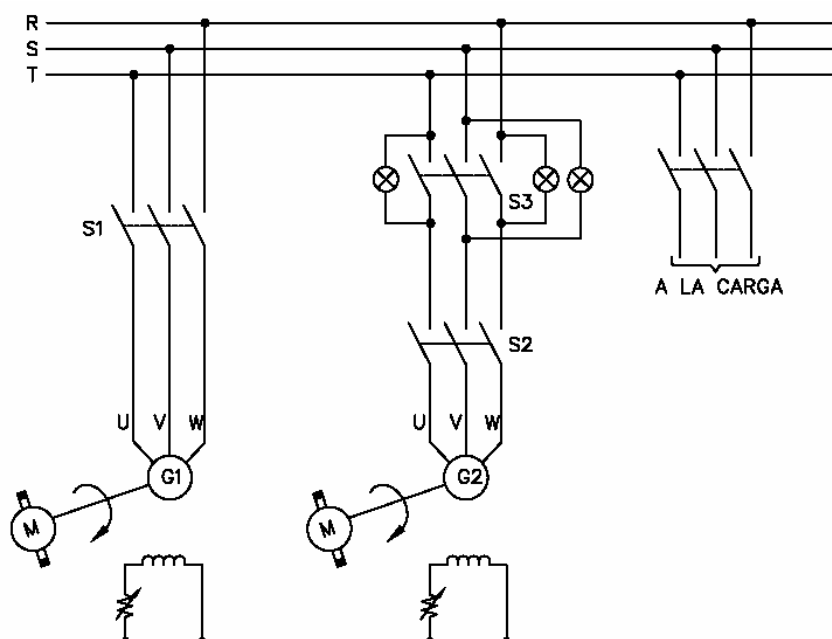
Para la comprobación del orden de fases se conectan las tres fases de ambos generadores, dos a dos, por medio de tres lámparas de incandescencia (es decir, una lámpara por fase); se varían las conexiones de las lámparas hasta que, funcionando los generadores en vacío, las tres lámparas se encienden y se apagan simultáneamente, indicando así que las fases unidas por ellas, son las que deben estar acopladas.

Ajustar las dos frecuencias de los generadores. Como es difícil igualar exactamente las dos frecuencias, se debe buscar el instante en que los dos generadores están en fase, llamado instante de sincronismo para hacer la conexión. La igualdad de frecuencia se comprueba por medio de un frecuencímetro. La frecuencia de un generador es proporcional a su velocidad, por lo tanto, puede regularse aumentando o disminuyendo la velocidad de la Máquina motriz.

La igualdad de tensiones se realiza por medio de dos voltímetros, uno para cada generador. Para igualar la tensión entre los dos generadores basta con actuar sobre el reóstato de excitación del generador, elevando la tensión de este hasta que sea la misma del otro generador.

La concordancia de fases, se realiza por medio de lámparas de fase y voltímetro de fase o bien por medio de un sincronoscopio.

Figura 39. Puesta en paralelo de dos generadores



### Resultados y cálculos

Responder las siguientes preguntas de los datos obtenidos mediante las mediciones realizadas, o realizando los cálculos correspondientes.

Generador en paralelo: Distribución de potencia activa  
Tensión en la carga (V/fase):

Corriente de excitación generador 1 (A):

Corriente de excitación generador 2 (A):

	Potencia (W)		Corriente de línea (A)		Factor de Potencia	
	Generador 1	Generador 2	Generador 1	Generador 2	Generador 1	Generador 2
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Generador en paralelo: Distribución de potencia reactiva

Tensión en la carga (V/fase):

Frecuencia generador 1 (Hz):

Frecuencia generador 2 (Hz):

	Corriente de Excitación (A)		Corriente de línea (A)		Factor de Potencia	
	Generador 1	Generador 2	Generador 1	Generador 2	Generador 1	Generador 2
1						
2						
3						
4						
5						
6						

- Sacar conclusiones generales, indicando todas las observaciones que se consideren necesarias.

## **7.7 CARACTERÍSTICAS DE CARGA DE GENERADORES DE CORRIENTE CONTINUA**

GENERADOR AUTOEXCITADO, PARALELO  
GENERADOR DE EXCITACIÓN INDEPENDIENTE  
GENERADOR DE EXCITACIÓN COMPUESTA

### **Competencia académica**

La máquina DC: Principio de funcionamiento como generador, análisis del generador en derivación, en serie, compuesto, excitación separada, características del voltaje en vacío, regulación de voltaje en distintas configuraciones de conexión, generadores DC en paralelo.

### **Alcance**

- Comprender el principio de operación de las máquinas de corriente continua
- Comprender los principios de operación de generadores y motores de corriente continua

### **Objetivos**

- Comparar las características del Generador de CC de excitación independiente y excitación compuesta en vacío y con carga.
- Obtener en forma experimental las curvas características del Generador de CC.
- Medir las resistencias eléctricas de los distintos devanados de una máquina de D.C.
- Estudiar la relación entre la dirección de rotación, la polaridad de salida y la dirección del flujo del campo magnético de un generador en derivación (shunt) autoexcitado.
- Estudiar la relación entre el voltaje en vacío y la corriente de campo de derivación, de un generador de derivación separadamente. Curva de saturación.

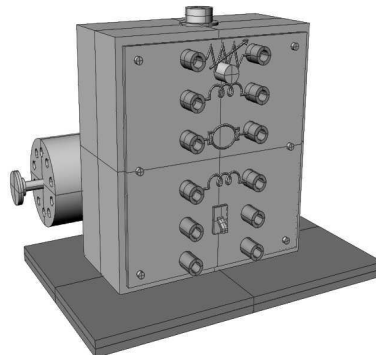
### **Temas de consulta**

- Máquinas de Corriente continua
- Norma IEEE 113

## Equipos a utilizar

- Generador de DC
- Motor sincrónico
- Tacómetro
- Voltímetro
- 2 Amperímetros
- Carga resistiva
- Puente de wheatstone

**Figura 40. Máquina DC**



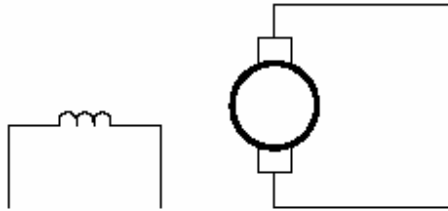
## Fundamentos teóricos

El generador de corriente continua debe ser impulsado mecánicamente con el fin de que produzca electricidad. Debido a que el campo es un electroimán a través de el debe de fluir una corriente para producir un campo magnético. Esta corriente se conoce como corriente de excitación y se puede suministrar al devanado del campo de dos maneras, puede provenir de una fuente externa (generador con excitación independiente), o puede provenir de la propia salida del motor (Generador con auto excitación)

### Excitación independiente

Significa que la corriente continua que alimenta el devanado inductor, proviene de una fuente independiente de la Máquina, como una batería de acumuladores, un rectificador conectado a la red alterna o un generador de corriente continua. (si el generador va montado sobre el mismo eje de la Máquina, la excitación independiente se le denomina excitación propia)

Figura 41. Excitación Independiente



### Auto excitación

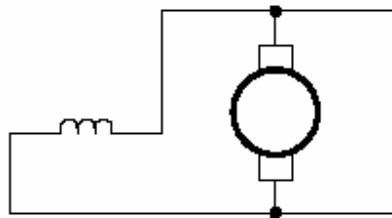
Significa que la corriente continua que excita las bobinas inductoras procede de la misma Máquina generatriz. Para obtener la auto excitación se necesita un pequeño flujo magnético, el cual es posible producir y mantener gracias al fenómeno de histéresis. Debido a este flujo remanente, al hacer girar el inducido se inducirá en el una pequeña fem, que aplicada al circuito inductor, genera una pequeña corriente que refuerza el magnetismo y la fem inicial también se incrementara (a mayor fem, mayor corriente) hasta alcanzar un equilibrio o estabilidad, esto se debe a una propiedad de los materiales magnéticos (saturación).

Dependiendo la conexión entre el devanado y el inductor estas serian las Máquinas auto excitadas.

### Paralelo

El devanado del inductor esta conectado en paralelo con el inducido. En este tipo de motor a medida que la corriente de carga disminuye de plena carga a vacío, la velocidad debe aumentar proporcionalmente.

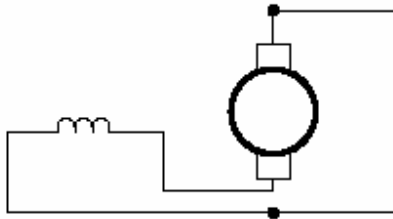
Figura 42. Excitación Paralelo



### Serie

Los motores con excitación en serie, son aquellos en los que el inductor esta conectado en serie con el inducido. En este motor el flujo del campo es una función de la corriente de carga y la curva de saturación, a medida que la corriente de carga disminuye desde plena carga, el flujo disminuye y la velocidad aumenta.

Figura 43. Excitación Serie



### Compuesta

El funcionamiento de la un generador de corriente continua depende de cuatro variables; la velocidad ( $V$ ), la corriente de excitación ( $i$ ), la tensión en bornes ( $U$ ), y la corriente del inducido ( $I$ ).

Figura 44. Excitación Compuesta

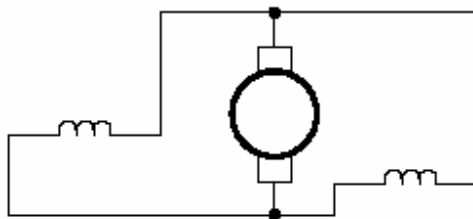
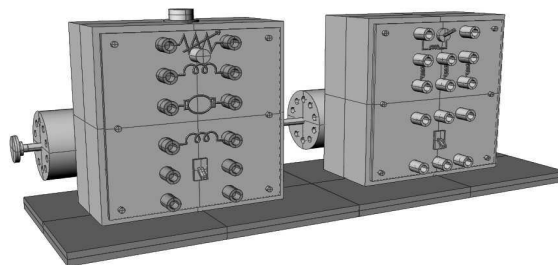


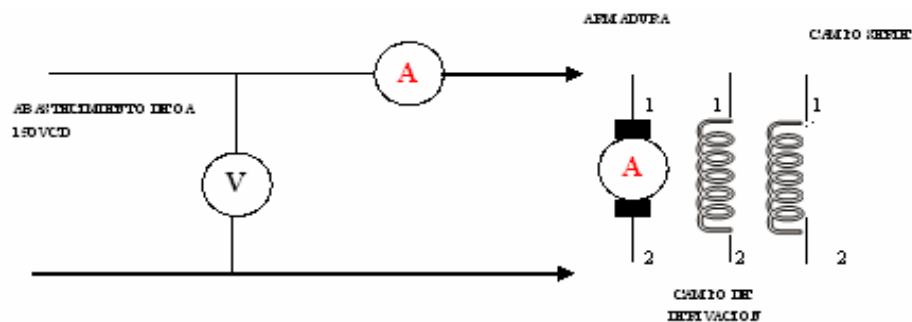
Figura 45. Acople



## Procedimiento

- Mida la resistencia del devanado en derivación por medio del puente de “wheatstone”, y anote esta lectura en la tabla de datos.
- Mida la resistencia del devanado en serie por medio del puente de Wheatstone
- Calcule la resistencia del devanado en derivación usando el método voltímetro – amperímetro en la forma mostrada en la figura N° 44
- Calcule la resistencia del campo serie usando el método voltímetro – amperímetro en la forma mostrada en la figura N° 44
- Calcule la resistencia de la armadura usando el método voltímetro – amperímetro en la forma mostrada en la figura N° 44. Considere de dos voltios la caída del voltaje originado por las escobillas

Figura 46. Resistencia Máquina DC



	Puente	Voltímetro	Amperímetro
	Wheatstone	V	A
RESISTENCIA DE CAMPO DE DERIVACIÓN			
RESISTENCIA DE CAMPO SERIE			
RESISTENCIA DE ARMADURA			

- Acople el generador de C.D al motor de CA, y ejecute las conexiones que aparecen en la figura N° 45.



- Con el bobinado en derivación desconectado, mida el voltaje de la C.D entre los terminales de la armadura. Anote la magnitud y polaridad de este voltaje e. Considere la dirección de rotación vista desde el extremo generado.
- Conecte el bobinado en derivación con el reóstato (a su máxima resistencia en posición por completo hacia la derecha), a los terminales de la armadura. Lentamente rebaje la resistencia del reóstato. Si el voltaje del generador comienza a subir, las conexiones ejecutadas fueron las correspondientes. Si el voltaje decrece, inviertanse las conexiones de campo de derivación y procédase adelante. Ajústese el reóstato de campo a fin que produzca un voltaje generado de 125 voltios. Anótese las conexiones, la armadura y las polaridades magnéticas de campo de la armadura.
- Deténgase el motor e inviertase su dirección de rotación. Con el campo de derivación desconectado para esta dirección de rotación mídase el voltaje de corriente directa entre los terminales de la armadura. Anote la magnitud y polaridad de este voltaje en la tabla de datos
- A fin de llevar el generador a desarrollar su excitación con esta dirección de rotación, será necesario intercambiar las conexiones entre los terminales de la armadura y campo, de cómo se encontraba en el paso tercero, ya que el flujo magnético por el campo de derivación y el residuo del flujo deben ser iguales.
- Ejecute estas conexiones, ponga el generador en marcha como en el paso tercero y anote las polaridades del campo y de la armadura.

Figura 47. Polaridad y Conexiones

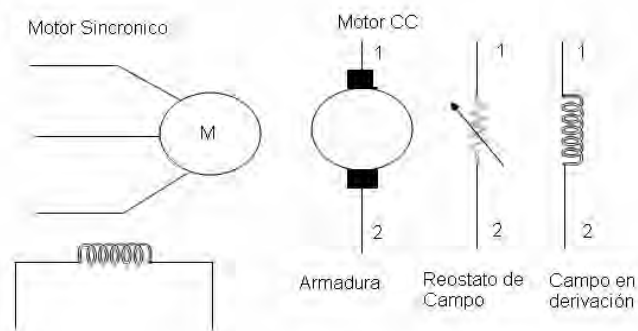

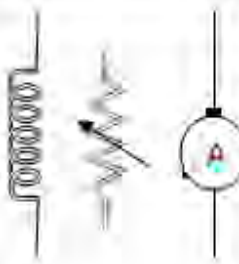

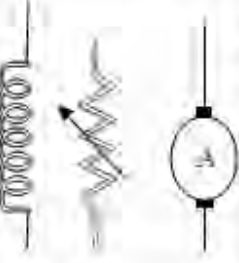


Tabla 15. Medición de Resistencia

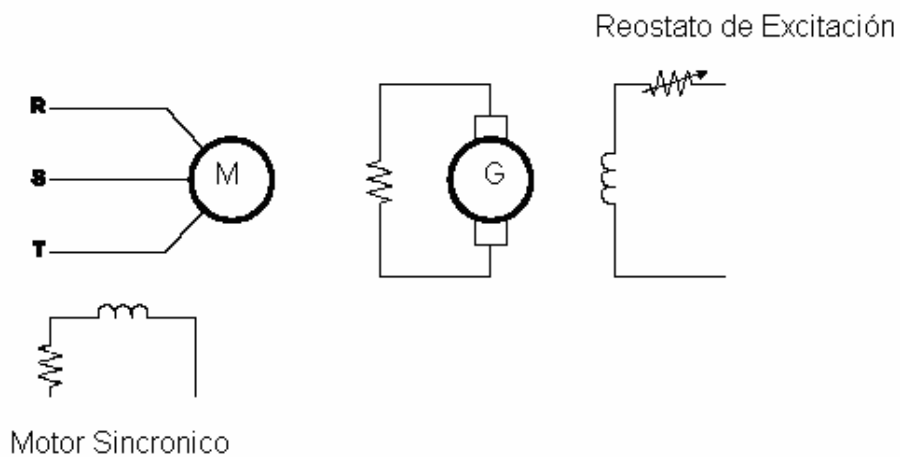
Paso Nº 1	DIRECCIÓN DE ROTACIÓN	POLARIDAD Y CONEXIONES	CONDICIONES DE LA PRUEBA
	A LA DERECHA		VOLTAJE GENERADO DEBIDO AL RESIDUO DE MAGNETISMO
	A LA DERECHA		CONEXIÓN APROPIADO DEL CAMPO DE DERIVACIÓN PARA QUE CAUSE INCREMENTO
	A LA IZQUIERDA		VOLTAJE GENERADO DEBIDO AL RESIDUO DE MAGNETISMO Y A LA DIRECCIÓN DE ROTACIÓN
	A LA IZQUIERDA		CONEXIÓN APROPIADA DEL CAMPO DE DERIVACION PARA QUE CAUSE INCREMENTO (ROTACIÓN INVERTIDA)

- Conecte el circuito, según figura
- Ajuste el reóstato de campo a su mínima resistencia.
- Arranque el motor mediante un lento incremento de tensión en la alimentación hasta 2.5 Amp de carga en el generador.

- Ajuste la tensión de salida a 115VDC mediante el reóstato de campo del generador.
- Realice la prueba con el motor en vacío hasta 2.5 Amperios de corriente de carga del generador, cada vez que se aplique carga será necesario ajustar el reóstato de campo, con el fin de mantener los 125VDC en la alimentación.

### Generador Independiente

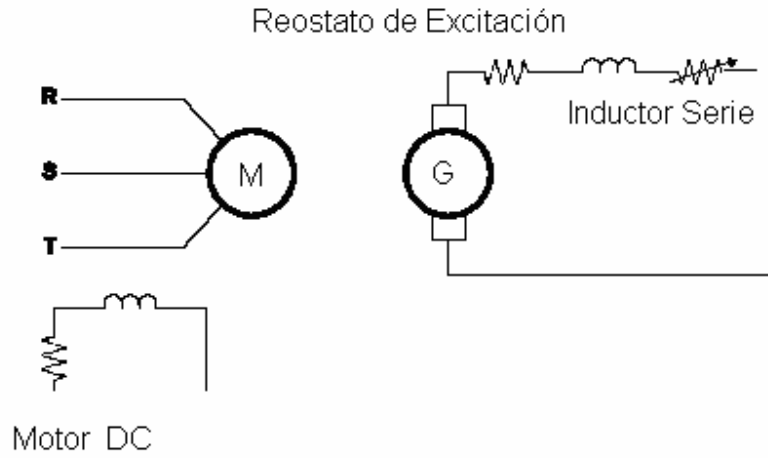
Figura 48. Conexión Excitación Independiente



	Generador Excitación Independiente				
Corriente de Excitación					
Corriente de Armadura					
Tensión de Armadura					
Corriente de Carga					
Velocidad					

## Generador serie

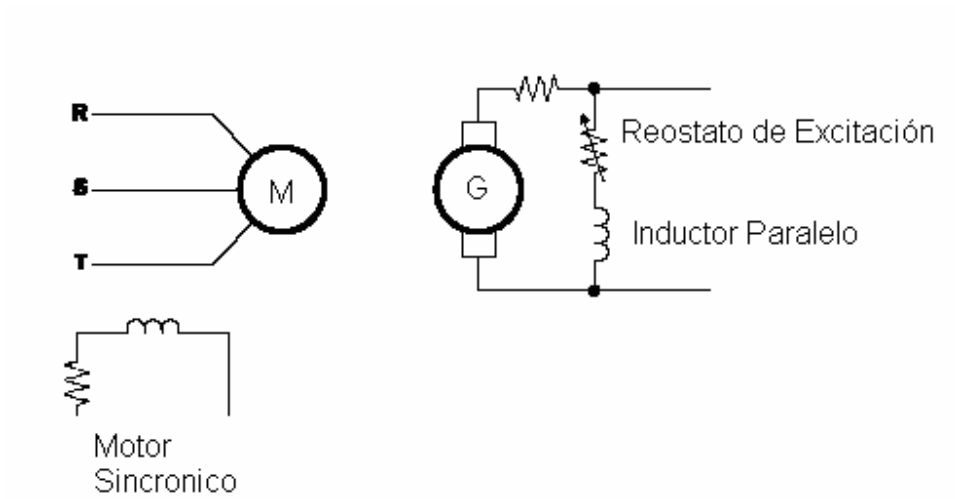
Figura 49. Conexión Serie



	Generador Serie				
Corriente de Excitación					
Corriente de Armadura					
Tensión de Armadura					
Corriente de Carga					
Velocidad					

## Generador Paralelo

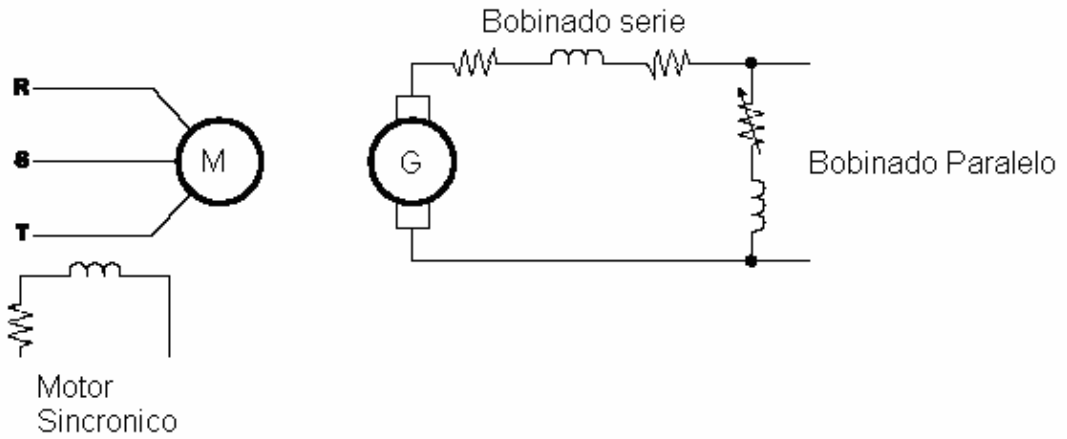
Figura 50. Conexión paralelo



	Generador Paralelo				
Corriente de Excitación					
Corriente de Armadura					
Tensión de Armadura					
Corriente de Carga					
Velocidad					

## Generador compuesto

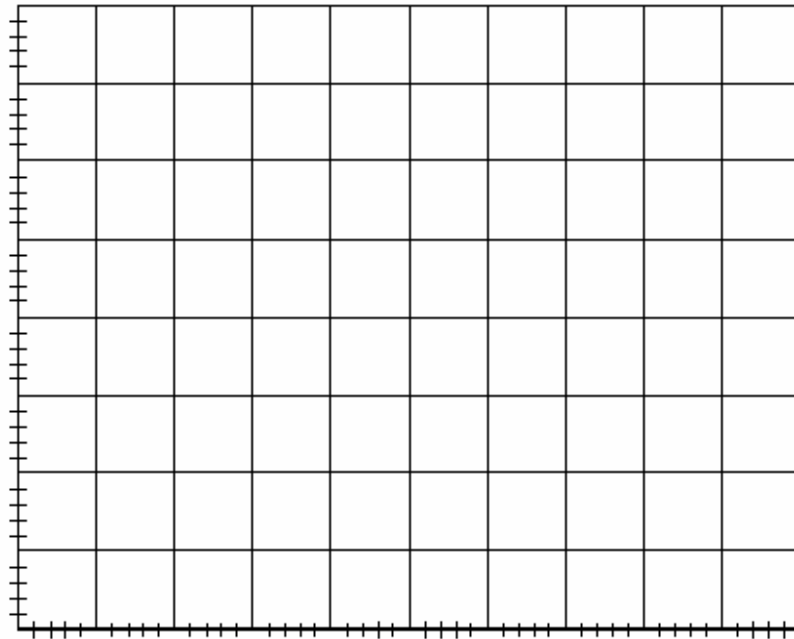
Figura 51. Conexión Compuesta



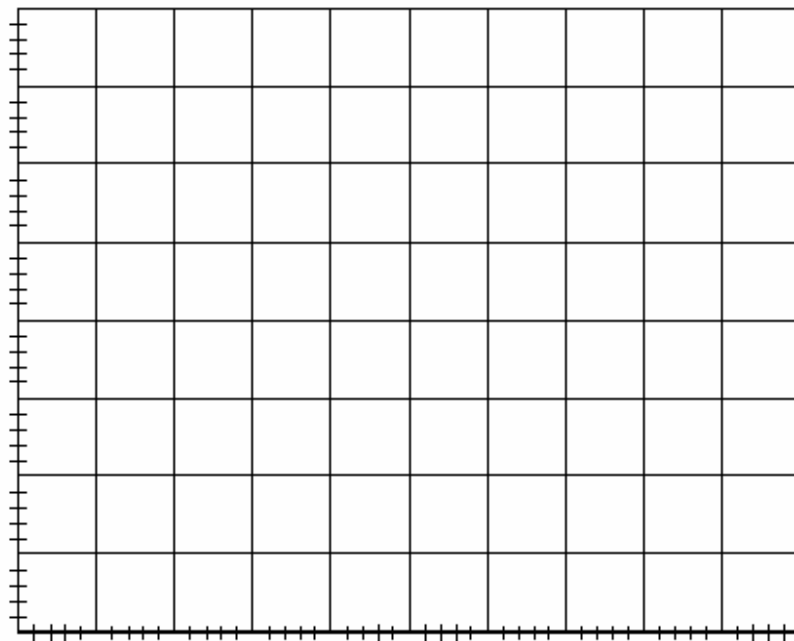
	Generador Compuesto				
Corriente de Excitación					
Corriente de Armadura					
Tensión de Armadura					
Corriente de Carga					
Velocidad					

## Resultados y Cálculos

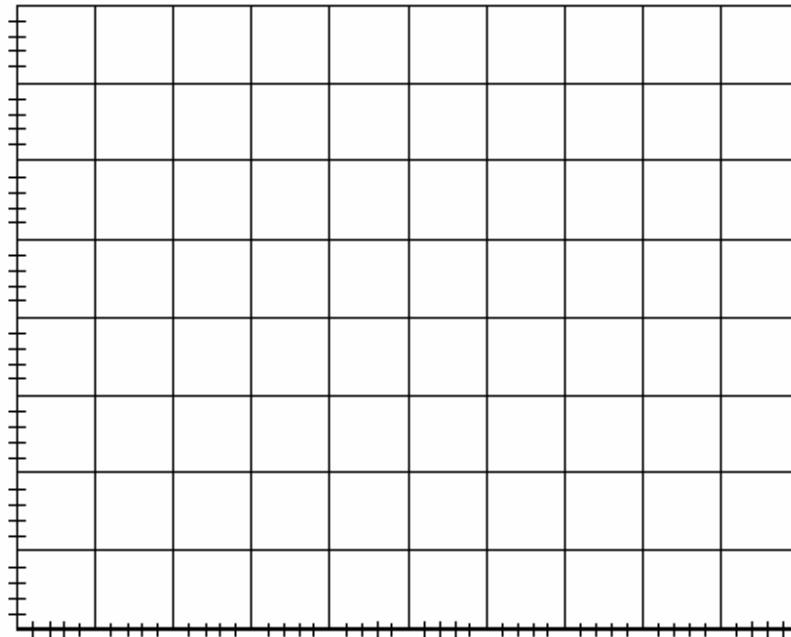
- Graficar las características de tensión en terminales contra la corriente de carga para cada uno de los generadores



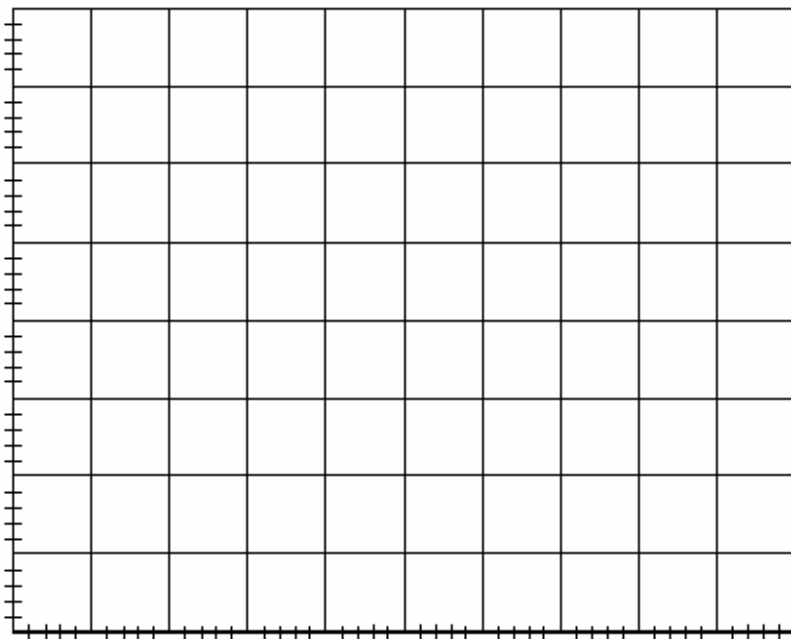
**Generador Excitación Independiente**



**Generador Paralelo**



**Generador excitación serie**



**Generador Excitación compuesta**

Según las graficas anteriores, cual es el comportamiento de cada tipo de generador.



- Calcule la tensión de regulación para cada uno de los generadores.

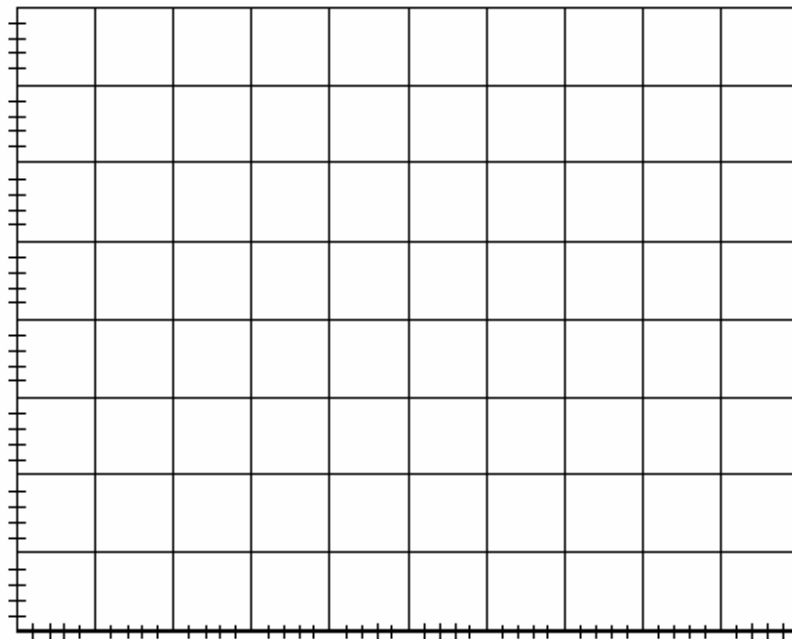
Generador Serie

Generador Paralelo

Generador Compuesto

Generador Independiente

- Graficar la característica en vacío.



- Para generador de excitación independiente
- Obtener la característica de magnetización o característica de vacío  $E = f(I_f)$  para  $I_a = 0$  y  $n = \text{cte.}$

- Se obtendrán 5 valores entre 0 y 80% de  $V$  y 5 valores entre 80 y el 110% variando la excitación.

	$V$	$I_f$

- Observar el efecto de invertir el sentido de giro y la corriente de excitación.
- Obtener la característica externa  $V = I_a$ , para la cual se hará girar el rotor a velocidad constante y con un valor de excitación constante tal que en vacío de lugar a la tensión nomina. En estas condiciones se obtendrán 5 valores de tensión entre 0 y el 100% de la corriente de carga.

	$V$	$I_a$

**Para el generador de excitación compuesta**

- Explicar el fenómeno de autoexcitación en un generador en derivación y como lograr la inversión de polaridad sin invertir el sentido de giro. Observar el fenómeno de autoexcitación en vacío.
- Observar el efecto de invertir el sentido de giro y/o conexiones del arrollamiento de excitación en derivación.

## **7.8 CARACTERÍSTICAS DE TORQUE Y VELOCIDAD EN MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA**

MOTOR AUTO EXCITADO  
SERIE, PARALELO Y COMPUESTO, EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

### **Competencia académica**

La máquina DC: Principio de funcionamiento como motor, análisis del motor con excitación independiente, shunt autoexcitado, serie, compuesto, imán permanente, Arrancadores, análisis de eficiencia.

### **Alcance**

- Comprender el principio de operación de las máquinas de corriente continua
- Comprender los principios de operación de motores de corriente continua
- Plantear la conveniencia del uso de motor de corriente continua
- Evidenciar las limitaciones y ventajas del uso del motor de corriente continua

### **Objetivos**

- Estudiar las características, torque Vrs Corriente, Velocidad Vrs Corriente, Torque Vrs Velocidad.
- Analizar la eficiencia en las Máquinas DC.

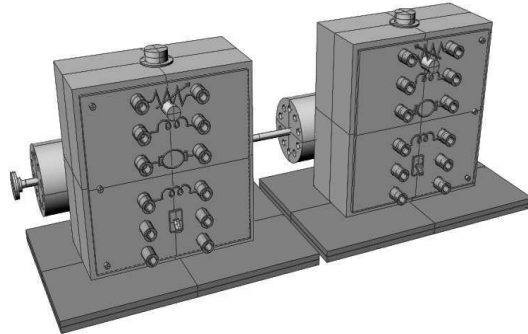
### **Temas de consulta**

- Máquinas de Corriente continua
- IEEE 113

### **Equipos a utilizar**

- Generador de DC
- Motor DC
- Tacómetro
- Voltímetro
- 2 Amperímetros
- Carga resistiva

Figura 52. Acople DC - DC



### Fundamentos teóricos

Los motores de corriente continua se clasifican de acuerdo al tipo de bobinado como motores serie, paralelo, compuesto. Sin embargo algunos de ellos pueden ser auto excitados o de excitación independiente.

Estos muestran curvas muy diferentes de torque y velocidad y se conectan de diferentes configuraciones según su aplicación.

Los motores de corriente continua se usan en una amplia variedad de aplicaciones industriales debido a la facilidad de controlar la velocidad.

En cualquier caso, trabaje como generador de CC o como motor, se aplica una corriente al inductor para generar el campo magnético principal. En el caso del generador, se hace girar el inducido y cuando las espiras del inducido pasan por delante de los polos se inducen tensiones en las espiras de las bobinas que son prácticamente proporcionales a la inducción del campo magnético principal, a la longitud de los conductores y a la velocidad con que se mueven respecto al campo. (Efecto FARADAY).

Estas fuerzas que se aplican a los conductores que se encuentran en la superficie del rotor o inducido, proporcionan un par de frenado que hay que vencer si se quiere mantener la velocidad de giro constante. En el caso del generador se busca tensión inducida, cuando circula corriente por el inducido se genera un par electromagnético que va en sentido contrario al movimiento, en el caso del motor se busca producir un par mecánico que haga girar el rotor. Para ello se hace circular corriente continua por las espiras y el inducido del motor.

### Excitación en paralelo

En este tipo de motor a medida que la corriente de carga disminuye de plena carga a vacío, la velocidad debe aumentar proporcionalmente. (Ver Figura No 40)

#### **Serie**

Los motores con excitación en serie, son aquellos en los que el inductor está conectado en serie con el inducido. En este motor el flujo del campo es una función de la corriente de carga y la curva de saturación, a medida que la corriente de carga disminuye desde plena carga, el flujo disminuye y la velocidad aumenta. (Ver figura No 41)

#### **Compuesta**

En este motor el flujo del campo varía directamente a medida que la corriente de armadura varía y es directamente proporcional a la carga. En este motor el campo serie se conecta de tal forma que el flujo se añada al flujo del campo principal shunt (paralelo). (Ver figura No 42)

#### **Procedimiento**

- Tome los datos de placa del motor.

Velocidad	Tensión	Corriente	Frecuencia	Potencia

- Mida los valores ohmicos de:

- Bobinado serie

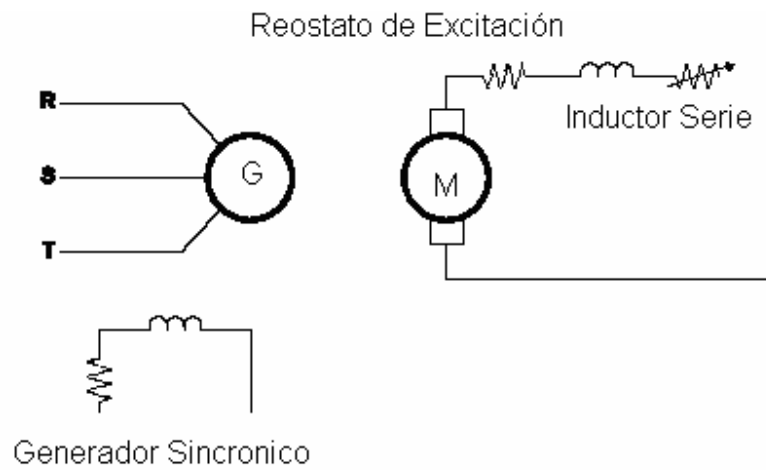
- Bobinado Shunt

- Conecte el circuito, según figura
- Ajuste el reóstato de campo a su mínima resistencia.
- Arranque el motor mediante un lento incremento de tensión en la alimentación hasta 2.5 Amp de carga en el generador.

- Ajuste la tensión de salida a 115VDC mediante el reóstato de campo del generador.
- Realice la prueba con el motor en vacío hasta 2.5 Amperios de corriente de carga del generador, cada vez que se aplique carga será necesario ajustar el reóstato de campo, con el fin de mantener los 125VDC en la alimentación.

- **Motor serie**

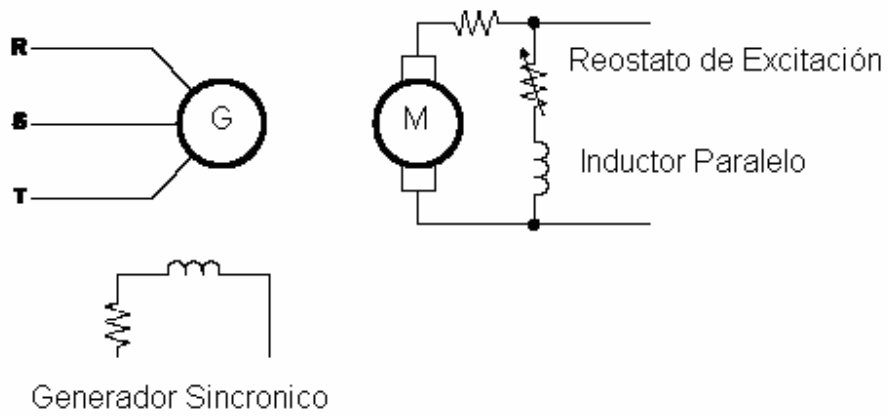
Figura 53. Conexión Motor serie



	Motor serie				
Corriente de Excitación					
Corriente de Armadura					
Tensión de Armadura					
Torque					
Velocidad					

- **Motor Paralelo**

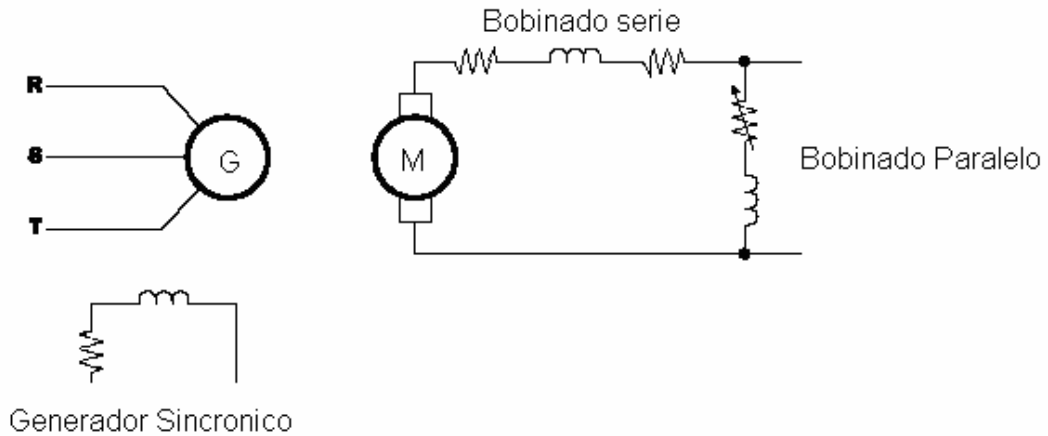
Figura 54. Conexión Motor paralelo



	Motor Paralelo				
Corriente de Excitación					
Corriente de Armadura					
Tensión de Armadura					
Torque					
Velocidad					

- **Motor Compuesto**

Figura 55. Conexión Motor compuesto



Motor Compuesto					
Corriente de Excitación					
Corriente de Armadura					
Tensión de Armadura					
Torque					
Velocidad					

**Control de Velocidad**

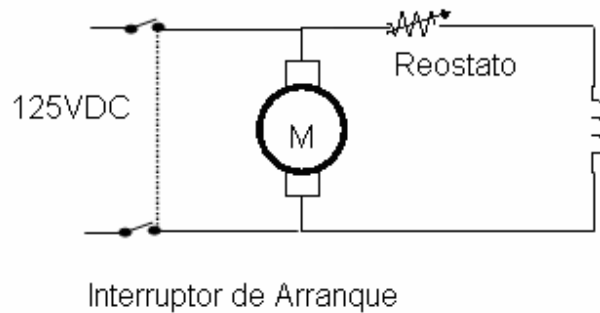
- Ejecute las conexiones de la figura No 50.
- Ajuste el reóstato de campo a su mínima resistencia, en posición por completo a la derecha.
- Arranque el motor mediante un lento incremento de tensión de 125VDC.
- Por medio del reóstato de campo, ajuste la velocidad del motor 2200 RPM, llene la tabla de datos con el valor de la corriente de campo, para diferentes



velocidades desde 2000 RPM, hasta su plena velocidad, la tensión de armadura se debe mantener en 125VDC.

- Dejando el reóstato de campo en su posición mínima de resistencia, anote en la tabla los diferentes valores de tensión y velocidad, variando la tensión desde 125VDC a 0VDC.

Figura 56. Control de velocidad

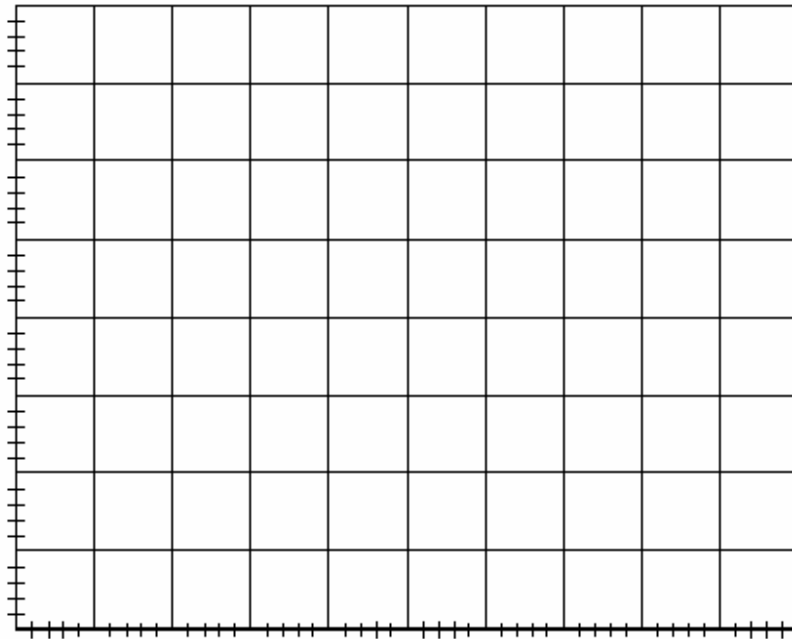


Velocidad					
Corriente de Campo					

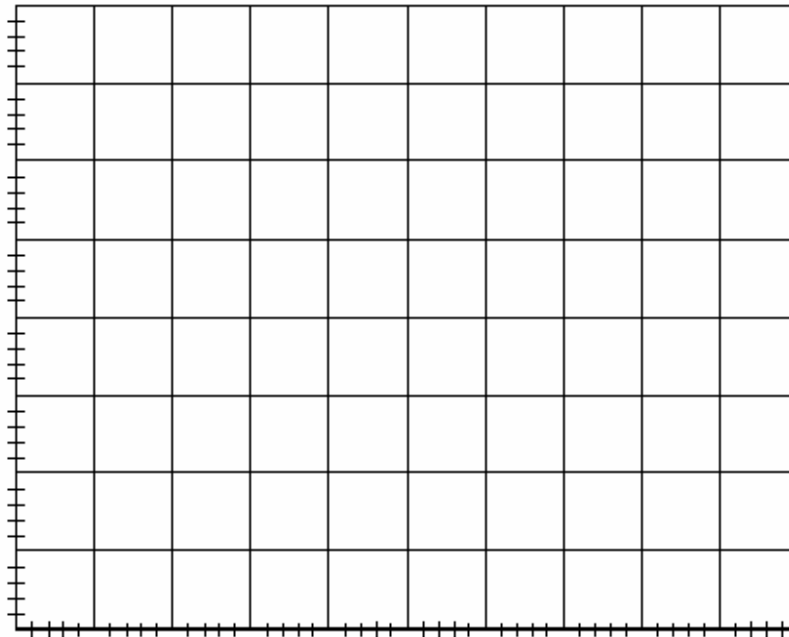
Velocidad					
Tensión de Armadura					

**Resultados y cálculos:**

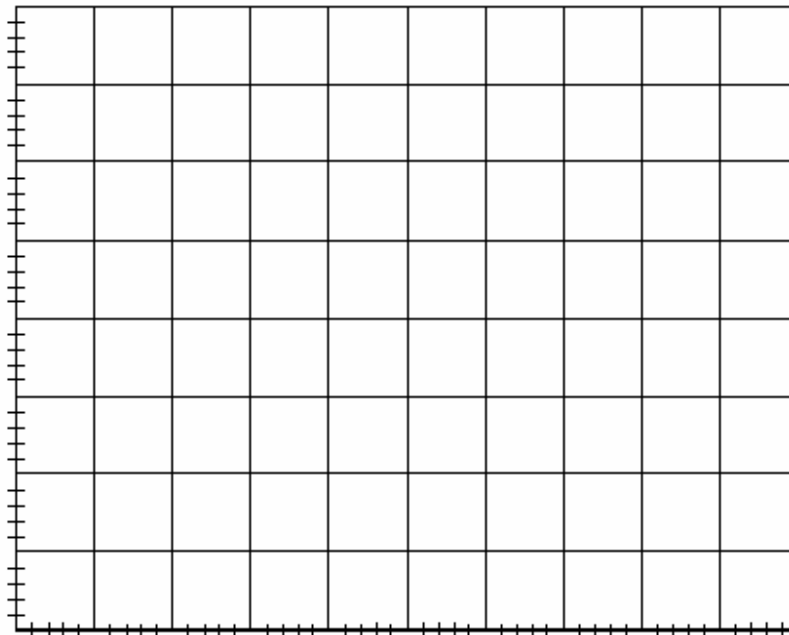
- Con los datos obtenidos calcule las curva característica de Torque Vrs Velocidad, del motor serie, paralelo y compuesto.



Motor Serie



Motor Paralelo



Motor Compuesto

Según las graficas anteriores cual es el comportamiento de cada uno de los motores.

- Obtener las características de velocidad de los motores.
- Obtener el comportamiento en vacío de los motores.
- Concluya acerca de el arranque de los motores

## **7.9 MOTOR MONOFASICO**

### **Competencia Académica**

Motores monofásicos y especializados, constitución, principio de funcionamiento, motores de inducción, capacitor, universal tipos , aplicaciones.

### **Alcances**

- Comprender el principio de operación de los motores monofásicos
- Comprender el principio de operación de cada tipo de motor
- Evaluar la conveniencia del uso de motores monofásicos
- Evidenciar las limitaciones y ventajas del uso del motor monofásico
- Evaluar técnica y económicamente el uso de los motores monofásicos

### **Objetivos**

- Conocer los tipos de arranque para el motor monofásico.
- Estudiar el principio de funcionamiento del motor monofásico de inducción.
- Conocer y estudiar las características de los diferentes tipos de motores de inducción.

### **Temas de consulta**

- Características de un motor monofásico

### **Equipos a utilizar**

- Motor monofásico (Ver figura No 5)
- Fuente de AC de 120V
- Multímetro
- Tacómetro
- Elementos complementarios.

### **Fundamentos teóricos**

Estructuralmente los motores monofásicos se asemejan estructuralmente a los motores trifásicos jaula de ardilla, con la excepción de que el arrollamiento del estator es un arrollamiento monofásico.

En el motor monofásico el campo magnético creado en un estator no es giratorio como en el motor trifásico, en este caso el campo permanece fijo a lo largo del eje de la bobina, pero la onda de fuerza magnetomotriz es una onda pulsante (varia en el tiempo, pero no en el espacio), dicha onda se puede descomponer en dos partes con la mitad de la amplitud que gira en sentido contrario uno respecto a la otra. La onda de fuerza magnetomotriz de rotación directa es la que pone en movimiento al rotor jaula de ardilla y la onda que gira en dirección inversa es anulada por la jaula cuando el rotor está en movimiento pero cuando el rotor está parado ambas fuerzas magnetomotrices se anulan y el motor no es capaz de arrancar, por eso los motores monofásicos se deben arrancar por medio de un devanado auxiliar.

Los motores de inducción monofásicos se clasifican de acuerdo con los métodos de arranque y se conocen generalmente por los nombres que describen dichos métodos. La selección de un tipo adecuado se hace en base a las características de arranque y de funcionamiento.

#### Motor de Fase Partida

En los motores de fase partida existen 2 tipos de bobinados en el estator:

- Devanado Principal: Es el que permanece con función durante el funcionamiento del motor, tiene una resistencia baja y una alta reactancia.
- Devanado auxiliar o de arranque: Es aquel que solo se utiliza en el arranque, tiene una resistencia alta y una baja reactancia.

El devanado principal crea un campo magnético pulsante no giratorio cuando está en reposo, por eso en estas condiciones el rotor no desarrolla par alguno; para que lo haga es necesario que haya, por lo menos, dos bobinados que estén separados sobre el medio del estator y que lleven corrientes mutuamente desfasadas.

Para obtener diferentes características de arranque el motor de fase partida se divide en dos clasificaciones:

- Motor normal de fase partida
- Motor de fase partida con arranque por condensador
- Motor de fase partida con arranque condensador permanente
- Motor de fase partida con condensador doble

El motor de fase partida arranca con ambos devanados conectados hasta que alcanza una velocidad de 75% de su velocidad nominal, dispone de un mecanismo de conmutación accionado por un dispositivo centrífugo o electromagnético que abre el circuito del devanado auxiliar en el momento exacto. El hecho de que el bobinado auxiliar este energizado solo un breve periodo de aceleración hace posible reducir el tamaño del hilo de su devanado. El sentido de rotación de un motor de fase partida se invierte, invirtiendo el devanado de arranque. Los motores de fase partida se arrancan a la tensión de la red. Luego la corriente de arranque es del orden de  $(4 - 6) I_n$ .

Cuando el motor se pone en marcha la corriente en el devanado principal es elevado, los contactos se cierran y permiten que se excite el devanado auxiliar. Cuando el motor alcanza la velocidad normal, la intensidad de la corriente principal baja y los contactos se abren.

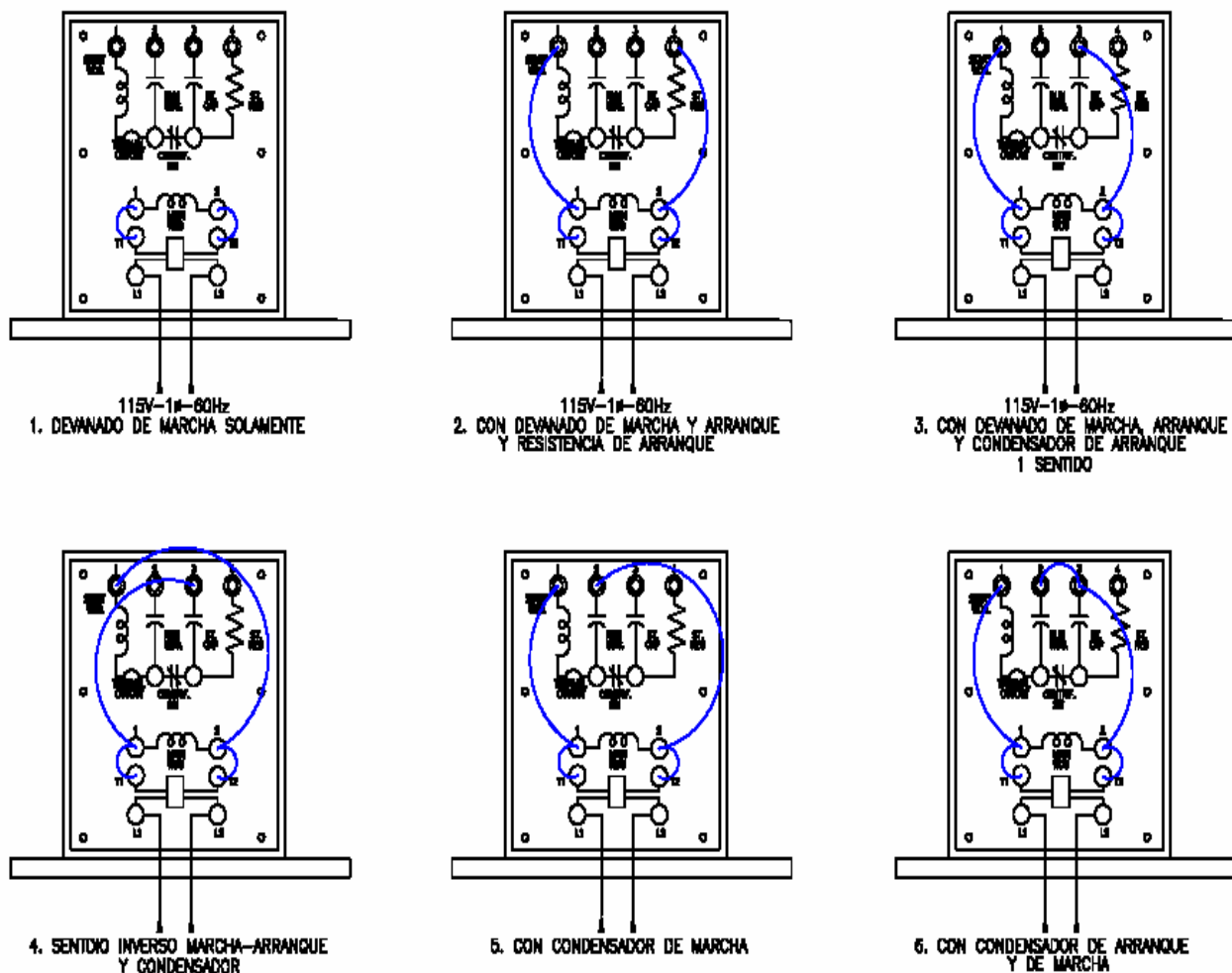
Los métodos para regular la velocidad consisten en cambiar el numero de polos teniendo varios bobinados.

**Motor de fase partida de arranque por condensador:** Si en la fase del bobinado auxiliar se intercala un condensador de la magnitud adecuada, puede conseguirse que la corriente de ese bobinado se desfase más de la del bobinado principal, incluso con un adelanto de 30 grados, caso en el cual se obtendrán mejores condiciones de arranque. Con este procedimiento es posible aumentar el par de arranque hasta 3.5 veces y disminuir la corriente de arranque entre 40 y 50%. El motor de arranque por condensador difiere del tipo normal solo en el periodo de arranque, que es cuando desarrolla mayor par de arranque a menor corriente; una vez la Máquina ha alcanzado velocidad de régimen y el devanado auxiliar queda sin excitación, sus características de servicio son idénticas.

- **Procedimiento**

Realizar los respectivos montajes como:

Figura 57. Conexiones motor monofásico



Motor de fase partida:

En este motor se sitúan en el estator dos devanados (desfasados  $90^\circ$  eléctricos en el espacio). El primer devanado, denominado principal tiene gran reactancia y baja resistencia, mientras que el otro, denominado auxiliar, cubre el resto del estator y tiene alta resistencia y baja reactancia, de tal forma que esta en serie con un interruptor centrífugo situado en el eje del motor.

Motor con arranque por condensador:

Poner en serie el devanado auxiliar con un condensador. El empleo de este condensador tiene grandes ventajas, ya que pueden conseguirse desfases en las corrientes de las bobinas que se acercan casi a los  $90^\circ$ .



En cada caso tomar las lecturas de la corriente de arranque y régimen, voltaje y velocidad, observar el sentido de rotación de acuerdo a la conexión.

- **Resultados y Cálculos**

De acuerdo a los datos obtenidos llenar la siguiente tabla

	<b>Sistema de conexión</b>	<b>Corriente de línea arranque</b>	<b>Corriente de línea régimen</b>	<b>Tensión línea</b>	<b>Velocidad RPM</b>

## 8. CONCLUSIONES

Las guías de laboratorio con que cuenta la universidad Autónoma de Occidente, necesitan una reestructuración, teniendo en cuenta el nuevo contenido programático, de acuerdo a las normas que rigen algunas de las pruebas y a la infraestructura con que cuenta la Universidad.

La metodología implementada en las guías de laboratorio que se presentaron como propuesta pretende desarrollar habilidades para que el estudiante realice un análisis del comportamiento de la máquina en diferentes estados. Además le aporta la teoría necesaria para el desarrollo de la práctica. De esta forma se ha conseguido aumentar la capacidad de abstracción del estudiante con respecto a los fenómenos físicos que se presentan en dichas Máquinas.

En la actualización de las prácticas de laboratorio, se identificó dentro del contenido programático actual de la asignatura, qué procedimientos matemáticos y físicos se podrían implementar en las guías de laboratorio, tomando como referencia los equipos con que cuenta la Universidad y el tiempo requerido para la realización de estas pruebas.

El objetivo de la normalización de las prácticas de laboratorio, ha sido visualizado con el fin de que el estudiante de ingeniería eléctrica tenga bases reales para enfrentarse en el campo laboral, por ende se ha tenido en cuenta para la actualización de las guías.

A partir del análisis realizado para la actualización de las guías de laboratorio, tomando como referencia las prácticas que se realizan en algunas Universidades indagadas para este trabajo, el actual contenido programático, la infraestructura con la que cuenta la Universidad, y las normas que rigen algunas de estas prácticas de laboratorio, se presenta una serie de guías de laboratorio que permitirán que el estudiante obtenga un conocimiento más práctico de los temas vistos en esta asignatura.

## 9. RECOMEDACIONES

Una vez concluido el trabajo se considera interesante tener en cuenta los siguientes tópicos.

Modificar el contenido programático de las materias Conversión de la Energía I y II, de tal forma que los dos primeros temas vistos en Conversión de la Energía II, Introducción a las máquinas eléctricas rotativas, funcionamiento y estructura de las máquinas eléctricas rotativas, sean los dos últimos temas del contenido temático de la materia Conversión de la Energía I. De esta manera, los temas incluidos en Conversión de la Energía II, serían máquinas asíncronas, máquinas sincrónicas y motores monofásicos. Alcanzando más profundidad en la teoría de estos temas sin disminuir la profundidad de las máquinas eléctricas estáticas (transformadores) y logrando un equilibrio en las dos materias ofrecidas por la Universidad Autónoma para máquinas eléctricas estáticas y rotativas.

Adquirir las normas citadas en las prácticas de laboratorio para que el estudiante tenga la facilidad de consultarlas.

Adquirir nuevos equipos como analizadores de red, que optimicen el tiempo destinado para la realización de las prácticas de laboratorio.

Aprovechar la herramienta virtual implementada en la tesis “Desarrollo de un laboratorio virtual de máquinas eléctricas rotativas en tiempo real”, para complementar las prácticas de laboratorio con simulación.

## BIBLIOGRAFÍA

CHAPMAN, Stephen J. Máquinas Eléctricas. 3 ed. Bogotá: McGraw Hill, 1990. 670 p.

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Departamento de Electrotecnia, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet: [http://fain.uncoma.edu.ar/electrotecnia/carreras/electrica/Máquinas\\_electricas/index.htm](http://fain.uncoma.edu.ar/electrotecnia/carreras/electrica/Máquinas_electricas/index.htm)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet: <http://fing.uncu.edu.ar/catedras/archivos/electrotecnia/programa2006.pdf>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet: <http://www.ing.unlp.edu.ar/carreras/analiticos/Electrotecnia/E233%20M%E1quinas%20El%E9ctricas%20I.doc>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Nacional de la Plata, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet: <http://www.ing.unlp.edu.ar/carreras/analiticos/Electrotecnia/E34%20M%E1quinas%20El%E9ctricas%20II.doc>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Nacional del Rosario, Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet: [http://www.fceia.unr.edu.ar/labinfo/info\\_academica/carreras/electrica/asignaturas\\_electrica.html#ce1](http://www.fceia.unr.edu.ar/labinfo/info_academica/carreras/electrica/asignaturas_electrica.html#ce1)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Nacional del Rosario, Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet: [http://www.fceia.unr.edu.ar/labinfo/info\\_academica/laboratorios/Máquinas\\_electricas.html](http://www.fceia.unr.edu.ar/labinfo/info_academica/laboratorios/Máquinas_electricas.html)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, Departamento de

Ingeniería Eléctrica, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet:  
[http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/electrica/Máquinas\\_electricasI.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/electrica/Máquinas_electricasI.pdf)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, Departamento de Ingeniería Eléctrica, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet:  
[http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/electrica/Máquinas\\_electricasII.pdf](http://www.frbb.utn.edu.ar/carreras/electrica/Máquinas_electricasII.pdf)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet:  
[http://www.frsn.utn.edu.ar/frsn/departamentos/electrica/planif2006/MaqElec\\_I.pdf](http://www.frsn.utn.edu.ar/frsn/departamentos/electrica/planif2006/MaqElec_I.pdf)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet:  
[http://www.frsn.utn.edu.ar/frsn/departamentos/electrica/planif2006/Máquinas\\_Electricas\\_II.pdf](http://www.frsn.utn.edu.ar/frsn/departamentos/electrica/planif2006/Máquinas_Electricas_II.pdf)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Brasil: Universidad Federal de Santa Catarina, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 6 2007]. Disponible en Internet:  
<http://www.eel.ufsc.br/web/>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet:  
<http://cursos.puc.cl/catalogo/programas/iee2272.pdf>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 6 2007]. Disponible en Internet:  
<http://electronica.udea.edu.co/pensum/PlanEstIEI1/IEI-321.pdf>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet:  
<http://electronica.udea.edu.co/index.html?pagina=cursos/Máquinaselectricas.htm>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 6 2007]. Disponible en Internet:  
[http://www.ingenieria.unam.mx/revplanes/planes2006/Electrica\\_Electronica/06/Máquinas\\_electricas\\_i.pdf](http://www.ingenieria.unam.mx/revplanes/planes2006/Electrica_Electronica/06/Máquinas_electricas_i.pdf)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. Estados Unidos: Universidad de Columbia, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 6 2007]. Disponible en Internet:

[http://www.ee.columbia.edu/misc-pages/elen\\_e4501.html](http://www.ee.columbia.edu/misc-pages/elen_e4501.html)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet:

<http://www.diee.unican.es/pdf/P102.PDF>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad de las Illes Balears, Facultad de Ingeniería, 2007 [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet:

<http://eps.uib.es/documents/programes/pdfs/46980607.pdf>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad de las Palmas de Gran Canaria, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 7 2007]. Disponible en Internet:

[http://www.ulpgc.es/index.php?asignatura=1050100015271&ver=informacion\\_general&id\\_proyecto=13525](http://www.ulpgc.es/index.php?asignatura=1050100015271&ver=informacion_general&id_proyecto=13525)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet:

<http://www.uned.es/guias12c/52/523083.pdf>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad de Navarra, Escuela Superior de Ingenieros de San Sebastián, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 6 2007]. Disponible en Internet:

[http://www.tecnun.es/asignaturas/SistElec/Prácticas/PR\\_SIS\\_02.pdf](http://www.tecnun.es/asignaturas/SistElec/Prácticas/PR_SIS_02.pdf)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad de Navarra, Escuela Superior de Ingenieros de San Sebastián, Facultad de Ingeniería, 2007. [Consultado abril 6 2007]. Disponible en Internet:

[http://www.tecnun.es/asignaturas/SistElec/Prácticas/PR\\_SIS\\_03.pdf](http://www.tecnun.es/asignaturas/SistElec/Prácticas/PR_SIS_03.pdf)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad de Vigo, 2007 [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet:

<http://webs.uvigo.es/t02/webt02/3041103220.pdf>

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Universidad de Vigo, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet:

[http://minas.uvigo.es/secretaria\\_es/programas/2003\\_2004/309110305.doc](http://minas.uvigo.es/secretaria_es/programas/2003_2004/309110305.doc)

Contenido temático Máquinas Eléctricas [en línea]. España: Escuela Universitaria Técnica Industrial de Toledo, 2007. [Consultado abril 5 2007]. Disponible en Internet:

<http://www.uclm.es/to/euiti/upload/programas/Máquinas.asp>

FITZGERALD, Kingsleijr. Maquinas Eléctricas. 6 ed. México: McGraw Hill, 2003. 670 p.

Guías de Laboratorio de Máquinas de Corriente Continua, Universidad del Valle. Santiago de Cali, 2000. 88 p.

Guías de Laboratorio de Máquinas Eléctricas. Universidad Autónoma. Santiago de Cali, 1985. 80 p.

Guías de Laboratorio de Máquinas Eléctricas, Universidad Nacional. Manizales, 2004. 44 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Norma técnica colombiana para el ensayo de la resistencia del aislamiento de maquinaria rotatoria. Primera actualización. Santa fé de Bogotá, D.C.: ICONTEC, 2003. 63 p. NTC 402/03

PALACIOS, J. Bregar. Prácticas de laboratorio de Máquinas eléctricas. 3 ed. Corregida. Madrid: Paraninfo, 1986. 324 p.

MORA, Fraile. Máquinas eléctricas. 6 ed. Madrid: McGraw Hill, 2003. 758 p.

ORDANAZA Arteaga, Luís. Evaluación del estado del aislamiento en bobinas de máquinas eléctricas rotativas. Madrid, 2004. 20 p.

Planeación y Desarrollo [en línea]. Colombia: Universidad Autónoma de Occidente, 2007. [Consultado abril 8 2007]. Disponible en Internet:

[http://bach.uao.edu.co:7778/pls/portal/docs/PAGE/UAO/UNIVERSIDAD/PLANEACION\\_Y\\_DESARROLLO/8-3\\_INFRA\\_DOT.PDF](http://bach.uao.edu.co:7778/pls/portal/docs/PAGE/UAO/UNIVERSIDAD/PLANEACION_Y_DESARROLLO/8-3_INFRA_DOT.PDF)

QUISPE, Enrique. Pruebas para evaluación de aislamiento en máquinas eléctricas rotativas. Santiago de Cali, 2005. 16 p.

SERRANO IRIBARNEGARAY, Luís. Fundamentos de máquinas eléctricas rotativas, Universidad politécnica de Valencia. Barcelona: Marcombo, 1989. 376 p.

**Anexo A. Tabla de referenciación de contenidos temáticos de la materia de máquinas eléctricas de diferentes universidades en el mundo.**

PAIS	UNIVERSIDADES	MATERIAS	TEMAS	CREDITOS
ESPAÑA	UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACION A DISTANCIA	MAQUINAS ELECTRICAS	Circuitos magnéticos y conversión de energía	6
			Transformadores	
			Principios generales de máquinas eléctricas rotativas	
			Máquinas de corriente continua	
			Máquinas asíncronas o de inducción	
			Máquinas síncronas	
	EU INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL TOLEDO (ESPAÑA)	CONTROL Y APLICACIÓN DE MAQUINAS ELECTRICAS	Transformadores	6
			Transformador monofásico en vacío	
			Transformador monofásico en carga	
			Características de servicio	
			Transformadores trifásicos	
			Acoplamiento de transformadores	
			Autotransformadores	
			Maquina síncrona rotativa de corriente alterna	
			La maquina síncrona como generador	
			Generador síncrono en carga	
			Características de servicio del generador síncrono	
			Acoplamiento de generadores	
La maquina síncrona como motor				
Maquina asíncrona rotativa de corriente alterna				
Maquina asíncrona como motor de inducción				



			Arranque y regulación de la velocidad de un motor	6
			El motor monofásico de inducción	
			Prácticas de laboratorio	
	UNIVERSIDAD DE VIGO	MAQUINAS ELECTRICAS	Introducción a la máquina eléctrica	4,5
			Transformadores	
			Generalidades de máquinas eléctricas rotativas	
			Máquina asíncrona. régimen equilibrado	
			Máquina síncrona	
			Máquina de corriente continua	
			Prácticas de laboratorio	
		Prácticas de laboratorio	1,5	
COLOMBIA	UNIVERSIDAD DEL VALLE	MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS I	Principio de conversión de energía electromecánica	3
			Partes componentes de la máquina	
			Producción de la fuerza electromotriz inducida y arrollamientos del inducido	
			Estudio de la reacción de inducción	
			Principio de conversión de energía electromecánica	
			Partes componentes de la máquina	
			Producción de la fuerza electromotriz inducida y arrollamientos del inducido	
			Estudio de la reacción de inducción	
			Estudio y evaluación de la conmutación de la máquina de dc	
			Generadores de corriente continua	
			Motores de corriente continua	
			Pérdidas y eficiencia	

		LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS I	Practicas de laboratorio	2
		MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS II	Clasificación y estructura de las máquinas de c.a	3
			Fuerzas electromotrices en los devanados de c.a	
			Máquinas sincrónicas	
			Características de funcionamiento de los generadores	
			Funcionamiento en paralelo de los alternadores	
	LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS II	Practicas de laboratorio	2	
	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE	CONVERSION DE LA ENERGIA I	Generalidades sobre la conversión de la energía	3
			Descripción general del transformador eléctrico	
			Funcionamiento del transformador	
			Confección y aplicación de los transformadores eléctricos	
		CONVERSION DE LA ENERGIA II	Conversión de la energía	
Teoría de Bobinados de CA, fuerza magnetomotriz y campo magnético				
Máquina de inducción				
Máquina síncrona				
	Máquinas de corriente continua			

	UNIVERSIDAD NACIONAL	CONVERSIÓN ELECTROMAGNÉTICA	Circuitos y materiales magnéticos	4
			Transformadores	
			Conceptos básicos de máquinas rotatorias	
			Máquinas sincrónicas	
			Máquinas polifásicas de inducción	
			Dinámica y control de la máquina polifásica de inducción	
			Máquinas de cd,	
			Motores de potencia fraccionaria y sub-fraccionaria	
		LABORATORIO DE CONVERSIÓN ELECTROMAGNÉTICA	Prácticas de laboratorio	3
ARGENTINA	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL (ARGENTINA)	MAQUINAS ELÉCTRICAS I Y LABORATORIO	Transformadores	3
			Máquinas de corriente continua.	
			Motores de corriente continua	
		MAQUINAS ELÉCTRICAS II Y LABORATORIO	Generadores sincrónicos	
			Motores sincrónicos	
			Máquinas asíncronas	
	Motores de doble jaula y de ranura profunda			
	Motores asíncronos monofásicos.			
	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ROSARIO	CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA I	Estructura electromagnética en estado estacionario	3
			Circuitos magnéticos	
			Transformadores	
			Teoría general de la máquina rotativa	
Máquina de inducción				
Máquina sincrónica				

			Máquina de corriente continua	
		CONVERSIÓN DE LA ENERGÍA II	Conversión electromecánica de la energía	
			Teoría unificada de las máquinas eléctricas rotantes	
			Máquina idealizada bipolar	
			Transformaciones	
			Cambio de variable	
			Máquina elemental equivalente	
			Modelos de circuitos y ecuaciones	
			Dinámica de las máquinas eléctricas	
			Convertidores electromecánicos	
			Máquinas eléctricas especiales	
	Lenguaje de simulación			
	UNIVERSIDAD DE LA PLATA	MAQUINAS ELÉCTRICAS I	Transformadores	
			Transformaciones trifásicas	
			Conversión electromecánica de la energía	
			Máquina sincrónica	
		MAQUINAS ELÉCTRICAS II	Máquina de corriente continua	
			Máquina asíncrona	
			Máquinas especiales	
MEXICO	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	TRANSFORMADORES Y MOTORES DE INDUCCIÓN	Selección de motores	
			Accionamientos	
			Cálculos básicos en máquinas	
			Características de los circuitos magnéticos	
			Teoría del transformador	
			Operación del transformador en sistemas eléctricos	
			Motores polifásicos de inducción	

			Instalación de motores de inducción	
			Motores monofásicos de inducción	
		MAQUINAS SINCRONAS Y DE CORRIENTE DIRECTA	Teoría básica de la maquina síncrona	
			Operación y estabilidad de generadores síncronos	
			Operación de motores y capacitores síncronos	
			Sistemas excitadores	
			Funcionamiento transitorio del generador síncrono	
			Teoría básica de la maquina de corriente directa	
			Análisis de respuesta de generadores y motores de c.d	
			Control de respuesta de generadores y motores de c.d	
BRASIL	UNIVERSIDAD FEDERAL DE SANTA CATARINA	CONVERSIÓN ELECTROMAGNÉ TICA DE ENERGÍA I Y II	Introducción y principios de maquinas eléctricas	
			Transformadores	
			Máquinas síncronas	
			Motores de inducción	
			Máquinas de corriente continua	
			Motores trifásicos	
			Máquinas elementales	
			Máquinas reales	
			Generadores de corriente continua	
			Motores de corriente continua	
			Máquinas especiales	

USA	UNIVERSIDAD DE COLUMBIA	DISPOSITIVOS Y CONVERSIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE LA ENERGÍA	Circuitos magnéticos	
			Almacenamiento de energía	
			Pérdida de energía	
			Transferencia de energía	
			Ecuaciones del Maxwell para los medios móviles	
			Ecuaciones dinámicas de los sistemas electromecánicos de lumped	
			Análisis incremental del movimiento	
			Principios de rotación de los dispositivos magnéticos	
			Máquinas rotativas bifásicas	
			Micromáquinas y micro instrumentación	
			Superconductividad y usos	

**Anexo B. Tabla de referenciación de prácticas de laboratorio de la materia de máquinas eléctricas de diferentes universidades en el mundo**

PAIS	UNIVERSIDADES	PRACTICAS DE LABORATORIO
ESPAÑA	EU INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL TOLEDO (ESPAÑA)	Constitución y características de un transformador industrial trifásico.
		Ensayo de vacío de un transformador.
		Ensayo de cortocircuito de un transformador.
		Polaridades y conexiones de un transformador trifásico.
		Acoplamiento en paralelo de dos transformadores trifásicos.
		Constitución y características de una máquina síncrona trifásica, en servicio.
		Ensayos de vacío y cortocircuito de una máquina síncrona .- Curvas características.
		Acoplamiento en paralelo de una máquina síncrona a una red de potencia infinita.
		Constitución y características de una máquina asíncrona trifásica, en servicio.
	UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS LA GRAN CANARIA	Construcción del Diagrama de Círculo.
		Arranque de los motores asíncronos trifásicos.
		Seguridad en el laboratorio de máquinas eléctricas
		El transformador
		Fundamentos de las máquinas eléctricas rotativas
		Principio de funcionamiento de las máquinas asíncronas
		Maquinas asíncronas
		Maquinas sincronías
		Maquinas de Corriente Continua.

	ESCUELA POLITECNICA UIB	Maquinas de Corriente Continua.
		Máquinas Asíncronas
		Maquinas Síncronas
		Transformadores
	UNIVERSIDAD DE VIGO	Introducción al laboratorio: Circuitos de mando y control
		Determinación de los parámetros del C.E. de un transformador monofásico.
		Transformador trifásico. Circuito equivalente.
		Determinación de los parámetros del C.E. de una máquina asíncrona.
		Curva de vacío de la máquina síncrona
PERU	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA	Ejemplo de soluciones de circuitos. Ampliación de la teoría con métodos especiales de solución (transformación y método de Maxwell).
		Práctica Calificada.- Sobre solución de circuitos de c.c. y acumuladores.
		Ejemplos de solución de circuitos magnéticos.
		Práctica Calificada.- Sobre magnetismo, circuitos magnéticos y electromagnetismo.
		Solución de problemas relativos a circuitos R-L-C en régimen-sinusoidal.
		Práctica Calificada.- Sobre circuitos monofásicos de corriente alterna.
		Solución de problemas de circuitos trifásicos.
		Solución de problemas de circuitos trifásicos. Repaso de la teoría de los circuitos de c.a.
		Práctica Calificada.- Sobre circuitos trifásicos balanceados.
		Práctica de Laboratorio.- Operación del generador de c.c.
		Práctica de Laboratorio.- Operación del motor de c.c.
		Práctica de Laboratorio.- Operación del transformador.
		Práctica de Laboratorio.- Operación del alternador.



		Práctica Calificada.- Sobre generador y motor c.c., transformador, alternador y motor trifásico.
		Práctica de Laboratorio.- Operación del motor trifásico de inducción.
		Práctica de Laboratorio.
ARGENTINA	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ROSARIO	Características de vacío y carga de motores y transformadores
		Ensayos de calentamiento en motores y transformadores
		Determinación de fallas. Diagnóstico
		Diseño, verificación y seguimiento hasta su optimización de máquinas eléctricas
		Ensayos de reactancias
		Ensayos de recepción "in situ" de máquinas eléctricas
		Estudio de corrientes de cortocircuito
		Estudio de coordinación de protecciones en redes de baja y media tensión
		Estudio de luminotecnica en espacios abiertos y ámbitos cerrados
		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CUYO
	Mediciones en CA Monofásica.	
	Determinación de la Potencia y el factor de potencia con Medidor de Energía.	
	Medición de Potencia Trifásica. Método Aarón.	
	Transformador -Resistencias de los devanados y relación	
	Transformador: Ensayo de Vacío.	
	Transformador: Ensayo de cortocircuito.	
	Generador de Corriente Continua: Curvas Características	
	Motor de Corriente Continua: Variación de la velocidad	
	Generador Síncrono: Curvas características.	
	Arranque de motor trifásico con lógica cableada.	
Arranque de motor trifásico con PLC.		

	UNIVERSIDAD NACIONAL DE COMAHUE	Ensayo indirecto de transformador monofásico.	
		Puesta en paralelo de transformadores monofásicos y trifásicos.	
		Ensayo indirecto de máquina asincrónica. Diagrama de Heyland, Funcionamiento como motor y como generador.	
		Inspección de máquinas eléctricas.	
		Ensayo indirecto de máquina de corriente continua, aplicaciones como generador y motor.	
		Ensayo indirecto de máquina síncrona. Diagrama de Potier. Paralelo con la red y funcionamiento como motor, curvas V.	
		Arranque y variación de velocidad de motores asincrónicos.	
	UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE BAHIA BLANCA	Transformadores	
		Maquinas de CC	
		Maquinas sincronías	
		Maquinas de inducción	
	COLOMBIA	UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA	Conocimiento del equipo disponible en el laboratorio.
			El transformador monofásico
			El transformador monofásico bajo carga
Transformadores monofásicos en serie y en paralelo			
El autotransformador monofásico			
Transformador trifásico			
Motores de inducción trifásicos			
Generador de corriente directa de excitación independiente			
Motores de corriente directa			
Generador sincrónico			
Alternador trifásico			
Motores monofásicos			

	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE	Ensayos preliminares en transformadores
		Transformadores monofásicos
		Conexión de transformadores en paralelo y autotransformadores.
		Conexión de transformadores trifásicos
		Ensayo básico en las maquinas de corriente continua
		Características de carga de generadores de corriente continua.
		Características mecánicas de motores de corriente continua Shunt-serie.
		Característica mecánica de motores de corriente continua.
		Maquina corriente alterna.
		Motor sincrónico
		Motor trifásico de inducción.
		Motor monofásico de fase partida.
		Arranque de motores de inducción ( lógica cableada)
		Arranque de motores de inducción (PLC)
		Motores paso a paso
Control de velocidad utilizando variadores de velocidad		
CHILE	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA	Transformador monofásico
		Máquina de corriente continua
		Máquina síncrona
		Máquinas de inducción
		Máquina generalizada
		Control electrónico de velocidad