

**PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE
LOS BANCOS DE PRUEBA (MOTOR-GENERADOR DC - MOTORES
MONOFÁSICOS) DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

CARLOS ENRIQUE GUAL PEDROZO

CARLOS ALBERTO MORA MONTIEL

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CARTAGENA DE INDIAS

2002

**PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE
LOS BANCOS DE PRUEBA (MOTOR-GENERADOR DC - MOTORES
MONOFÁSICOS) DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

CARLOS ENRIQUE GUAL PEDROZO

CARLOS ALBERTO MORA MONTIEL

**Tesis de grado presentada como requisito
para obtener el título de ingeniero electricista**

**Director
LUIS EDUARDO RUEDA
Ingeniero electricista**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CARTAGENA DE INDIAS

2002

Cartagena de Indias, D .T. H y C. Mayo 30 de 2002

Señores

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS.
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
Ciudad

Estimados señores:

Con respeto nos dirigimos a ustedes para hacer la entrega de la tesis de grado que lleva por titulo **PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE LOS BANCOS DE PRUEBA (MOTOR-GENERADOR DC - MOTORES MONOFÁSICOS) DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**, como requisito para optar el titulo de ingeniero electricista.

Esperamos que este proyecto sea de su total satisfacción.

Agradecemos su amable atención

CARLOS E. GUAL PEDROZO
C.C 85.474.354

CARLOS A. MORA MONTIEL
C.C 73.577.513

Cartagena de Indias, D .T. H y C. Mayo 30 de 2002

Señores
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS.
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
Ciudad

Estimados señores:

Tengo el agrado de presentar a su consideración el proyecto de grado el cual me desempeño como director, titulado **PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE LOS BANCOS DE PRUEBA (MOTOR-GENERADOR DC - MOTORES MONOFÁSICOS) DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**, desarrollado por los estudiantes de ingeniería eléctrica **CARLOS ENRIQUE GUAL PEDROZO Y CARLOS ALBERTO MORA MONTIEL**, como requisito para optar el título de ingeniero electricista.

Agradezco su amable atención,

LUIS EDUARDO RUEDA
Ingeniero electricista

ARTICULO 105

La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Cartagena de Indias, D .T. H y C. Mayo 30 de 2002

*A Dios por haberme permitido cumplir esta meta,
a mi padre por sus consejos sabios,
a mi madre por su confianza y amor,
a Claudia por su ayuda incondicional y entusiasmo.*

A Dios todo poderoso,

*A mis padres Carlos y Yadira
por su amor, comprensión y sacrificio para el logro de esta meta*

A mi Hermano Luis, por su apoyo y solidaridad

A mi abuela Guillermina, por su amor incondicional

A mis verdaderos amigos

gracias

Carlos A. Mora

AGRADECIMIENTOS

Los autores le expresan sus agradecimientos a :

Luis Eduardo Rueda. Ingeniero electricista y director de la investigación, por su incondicionalidad y valiosas orientaciones.

Así mismo los autores agradecen a Alfredo Cerra Cerra. Gerente general y propietario de Empresa Eléctrica Casa del Embobinador, por su paciencia y amabilidad.

Igual agradecimiento a todo el personal técnico y administrativo de Empresa Eléctrica Casa del Embobinador por brindarnos su confianza y aporte invaluable en el desarrollo de este trabajo.

A Jose Urueta y Alex Santoyo. Compañeros y amigos, por su generosa colaboración.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	
1. CONSERVACIÓN DE LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS	3
1.1 GENERALIDADES	3
1.2 LIMPIEZA DE LAS MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS	4
1.3 EXCESO DE ACEITE	5
1.4 ESTADO DE LOS RODAMIENTOS	6
1.5 TEMPERATURA DE LOS DEVANADOS	7
1.6 PROTECCIÓN DE LAS MAQUINAS CONTRA LA HUMEDAD	7
1.7 ESTADO DE ESCOBILLAS	8
1.8 REBAJE DE LA MICA	9
1.9 RECTIFICACIÓN Y PULIMENTO DE COLECTORES	9
2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LOS BANCOS DE PRUEBA	12
2.1 GENERALIDADES	12
2.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LAS MAQUINAS	12
2.3 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LAS MÁQUINAS	16
2.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA DE LOS BANCOS DE PRUEBAS	20

2.5 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA ELEMENTOS DE MANIOBRA DE LOS BANCOS DE PRUEBAS	22
3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS BANCOS DE PRUEBAS	26
3.1 GENERALIDADES	26
3.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS	26
3.3 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS	28
3.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA DE LOS BANCOS DE PRUEBA	32
3.5 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA DE LOS BANCOS DE PRUEBA	34
4. MANTENIMIENTO REALIZADO A LOS BANCOS DE PRUEBA	36
4.1 GENERALIDADES	36
4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS	36
4.2.1 Mantenimiento preventivo para el grupo motor-generador de corriente continua	37
4.2.2 Mantenimiento preventivo para los motores monofásicos	40
4.3 DISEÑO DE NUEVOS CIRCUITOS DE CONTROL Y POTENCIA	43
4.3.1 Diseño de los circuitos de control y potencia del banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua	43
4.3.2 Diseño de los circuitos de control y potencia del banco de pruebas de los motores monofásicos	45
4.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ELEMENTOS DE MANIOBRA Y MEDICIÓN DE LOS BANCOS DE PRUEBA	47
4.4.1 Mantenimiento preventivo de elementos de maniobra y medición del banco de pruebas del grupo motor generador DC	48

4.4.2	Mantenimiento preventivo de elementos de maniobra medición del banco de pruebas de motores monofásicos	49
4.5	MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y REESTRUCTURACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS MECÁNICAS DE LOS BANCOS DE PRUEBAS	50
5.	GUÍAS DEL LABORATORIO	60
5.1	GUÍAS DEL LABORATORIO DE MOTORES MONOFÁSICOS	60
5.1.1	Conocimiento del banco de pruebas del grupo de motores monofásicos.	60
5.1.2	Comportamiento del motor monofásico de fase partida	67
5.1.3	Comportamiento del motor universal	78
5.1.4	Funcionamiento del motor trifásico conectado como monofásico y del motor espiras de sombra.	85
5.2	GUÍAS DEL LABORATORIO DE MOTOR-GENERADOR DC	92
5.2.1	Ensayos preliminares para el motor de corriente continua.	92
5.2.2	Conocimiento del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.	103
5.2.3	Comportamiento del motor de cc en el arranque	110
5.2.4	Comportamiento del motor de cc con excitación shunt	117
5.2.5	Comportamiento del motor de cc con excitación serie	124
5.2.6	Comportamiento del motor de cc con excitación compound aditivo	130
5.2.7	Comportamiento del motor de cc con excitación compound Diferencial	136
5.2.8	Verificación de la saturación magnética de los campos en un generador autoexcitado sin carga (característica de vacío)	142
5.2.9	Verificación de la saturación magnética de los campos en un Generador con excitación independiente sin carga y comportamiento del mismo bajo condiciones de carga	147

5.2.10 Comportamiento del generador de cc en conexión shunt	154
5.2.11 Comportamiento del generador de cc en conexión serie	159
2.2.12 Comportamiento del generador de cc compound aditivo y sus diferentes grados de composición	164
5.2.13 Comportamiento del generador de cc compound diferencial	171
5.2.14 Pérdidas de potencia y rendimiento de una máquina de corriente continua	176
6. CONCLUSIONES	186
BIBLIOGRAFÍA	187
ANEXOS	189

LISTA DE CUADROS

	pag
Cuadro 1. Plan de mantenimiento predictivo para el banco de pruebas del motores monofásicos	15
Cuadro 2. Plan de mantenimiento predictivo para el banco de pruebas del grupo motor-generator de corriente continua.	21

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Estado en que se encontraron lo elementos de maniobra.	48
Figura 2. Estado en que se encontró el banco de pruebas del grupo motor- generador de corriente continua	52
Figura 3. Estado en que se encontró el banco de pruebas de motores monofásicos	52
Figura 4. Montaje de los elementos de maniobra del banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua	54
Figura 5. Montaje de los elementos de maniobra del banco de pruebas de motores monofásicos	55
Figura 6. Panel de control y bornes de conexión del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua	55
Figura 7. Panel de control y bornes de conexión del banco de pruebas de motores monofásicos	56
Figura 8. Panel de instrumentos de medición del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua	56
Figura 9. Panel de instrumentos de medición del banco de pruebas de motores monofásicos	56
Figura 10. Grupo motor - generador - tacogenerador de corriente Continua	57
Figura 11. Grupo de motores monofásicos	57
Figura 12. Banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua después del mantenimiento	58
Figura 13. Banco de pruebas del grupo de motores monofásicos después del mantenimiento	59
Figura 14. Simbología eléctrica empleada en el circuito eléctrico de control y potencia en del banco de pruebas monofásicos	63

Figura 15. Circuito eléctrico de control y potencia del banco de pruebas de motores monofásicos	64
Figura 16. Diagrama de conexiones para el arranque del motor de fase partida a 110 V con arranque por condensador y resistencia	73
Figura 17. Diagrama de conexiones para inversión del sentido de giro del motor de fase partida conectado a 110 V con arranque por condensador y resistencia	74
Figura 18. Diagrama de conexiones para arranque del motor de fase partida a 220 V con arranque por condensador y resistencia	75
Figura 19. Diagrama de conexiones para inversión del sentido de giro del motor de fase partida conectado a 220 V con arranque por condensador y resistencia.	76
Figura 20. Diagrama de conexiones para arranque e inversión del sentido de giro del motor con condensador permanente	77
Figura 21. Diagrama de conexiones para el arranque del motor universal con corriente alterna y corriente continua	82
Figura 22. Diagrama de conexiones para inversión del sentido de giro del motor universal con corriente alterna y corriente continua	83
Figura 23. Diagrama de conexiones para variar la velocidad del motor	84
Figura 24. Diagrama de conexiones steinmetz para arranque e inversión de giro del motor trifásico como monofásico	90
Figura 25. Diagrama de conexiones para el arranque del motor espiras de sombra	91
Figura 26. Conexión para medir la resistencia de aislamiento a tierra	97
Figura 27. Maniobra para medir la resistencia de aislamiento a tierra	98
Figura 28. Circuito equivalente de la conexión realizada para medir resistencia de aislamiento a tierra	98
Figura 29. Conexión para determinar la zona neutra geométrica del motor DC utilizando el primer método	100
Figura 30. Conexión para determinar la zona neutra geométrica por el segundo método	101

Figura 31. Simbología de elementos componentes del banco de pruebas del grupo-motor generador de corriente continua	105
Figura 32. Circuito eléctrico de control y potencia del banco de pruebas del grupo motor – generador de corriente continua	106
Figura 33. Forma de conexión del enchufe del banco de pruebas	107
Figura 34. Diagrama de conexiones para laboratorio 3	116
Figura 35. Diagrama de conexiones para laboratorio 4	123
Figura 36. Diagrama de conexiones para laboratorio 5	130
Figura 37. Diagrama de conexiones para laboratorio 6	136
Figura 38. Diagrama de conexiones para laboratorio 7	141
Figura 39. Diagrama de conexiones para laboratorio 8	146
Figura 40. Diagrama de conexiones para laboratorio 9	153
Figura 41. Diagrama de conexiones para laboratorio 10	158
Figura 42. Diagrama de conexiones para laboratorio 11	163
Figura 43. Diagrama de conexiones para laboratorio 12	169
Figura 44. Diagrama de conexiones para laboratorio 12	170
Figura 45. Diagrama de conexiones para laboratorio 13	175
Figura 46. Forma de colocar la pieza de rotor bloqueado en el eje del motor.	179
Figura 47. Esquema de conexión para prueba de rotor bloqueado	180
Figura 48. Diagrama de conexiones para laboratorio 14	185

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Fundamentación teórica de los laboratorios de Motores Monofásicos

Anexo B. Fundamentación teórica de los laboratorios del grupo motor – generador de corriente continua

Anexo C. Dispositivo medidor de velocidad de los motores del banco de prueba grupo motores monofásicos

Anexo D. Cálculo de las resistencias de arranque para el motor de corriente continua

Anexo E. Inventario de partes del banco de pruebas del grupo motores monofásicos

Anexo F. Inventario de partes del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua

Anexo G. Formato para registro de mantenimiento predictivo de máquinas pertenecientes al banco de pruebas de motores monofásicos

Anexo H. Formato para registro del mantenimiento predictivo de máquinas pertenecientes al banco de pruebas grupo – motor generador de cc

Anexo J. Formato para registro del mantenimiento predictivo de elementos de maniobra del banco de pruebas de motores Monofásicos

Anexo K. Formato para registro del mantenimiento predictivo de elementos de maniobra del banco de pruebas grupo motor – generador de cc

AnexoL. Valores de resistencia óhmica de los devanados de las máquinas pertenecientes a los bancos de pruebas.

Anexo M. Valores de resistencia de aislamiento a tierra de los devanados de las máquinas pertenecientes a los bancos de pruebas.

GLOSARIO

ARRANCADOR DE MOTOR: Controlador eléctrico que puede ser manual o automático para acelerar un motor desde el reposo hasta la velocidad nominal.

ARROLLAMIENTO DE INDUCIDO: Localizado en el rotor y conectado al colector o conmutador al tablero de bornes a través de las escobillas.

BLOQUE AUXILIAR: Son contactos de salida adicionales que se pueden agregar cuando se necesitan mas salidas de las que trae el contactor por fabricación.

BREAKER: Elemento que aísla un sistema eléctrico de la fuente. Su función es proteger el sistema contra corrientes de cortocircuito.

CONTACTOR INSTANTÁNEO: Es un interruptor accionado o gobernado a distancia por un electroimán.

CONTACTOS DE SALIDA DEL CONTACTOR: son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de la corriente, tan pronto como se energice la bobina, ya sea en el circuito de potencia o en el de control. Estos se encuentran en dos categorías, en contactos principales y contactos auxiliares.

CONTACTOR TEMPORIZADO: Son contactores que no se accionan instantáneamente al energizar la bobina (o desenergizar la bobina) sino que debe pasar un periodo de temporización para que sus contactos de salida cambien de estado.

CORRIENTE DE SOBRECARGA: Corriente superior a la nominal que circula por la misma trayectoria por donde lo hace la carga.

CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO: Corriente muy superior a la nominal que probablemente circula por partes diferentes a la carga.

DEVANADO AUXILIAR O INTERPOLAR: Localizado en el estator, encima y alrededor del núcleo polar de los polos auxiliares o interpolos, también denominados polos de conmutación.

DEVANADO DE EXCITACIÓN SERIE: Localizado en el estator, encima y alrededor del núcleo polar de los polos principales y como único devanado si se trata de un motor serie, o junto con el devanado shunt, uno al lado del otro, si se trata de un motor compuesto o compound.

DEVANADO DE EXCITACIÓN SHUNT: Localizado en el estator, encima y alrededor de núcleo polar de los polos principales.

FUERZA CONTRAELECTROMOTRIZ: La FEM que se genera en la armadura de un motor, y que se opone al voltaje aplicado a esa armadura.

FUSIBLE: Elemento que sensa e interrumpe corrientes de sobrecarga y cortocircuito siendo esta última su función principal.

GENERADOR: Máquina que convierte energía mecánica en energía eléctrica.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Tipo de mantenimiento en el que se efectúa una acción que tienda a llevar a cabo reparaciones menores o mayores en equipos o partes de los mismos que ha presentado falla o se han retirado de servicio.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: Es el mantenimiento dado con base en el muestreo, registro y análisis de variables que determina el estado de la máquinas o equipo y que son monitoreadas para “predecir” la falla.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: mantenimiento que consiste en programar las intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados estadísticamente o según eventos regulares.

MOTOR: Máquina que convierte energía eléctrica en energía mecánica.

PULSADOR: Elemento que se utiliza para dar ordenes de arranque, parada entre otras.

REACCIÓN DE INDUCIDO: Fuerza magnetomotriz (FMM) debida a la corriente en el devanado de armadura.

RECTIFICADOR TRIFÁSICO: es un dispositivo semiconductor que se utiliza para convertir un sistema trifásico de corriente alterna en uno de corriente continúa.

RELÉ DE SOBRECARGA: Dispositivos que operan por corriente o por temperatura y se encargan de interrumpir corrientes de sobrecarga.

RESISTENCIA DE ARRANQUE: Resistencia de potencia cuya función es limitar la corriente de armadura del motor en el periodo de arranque.

REÓSTATO DE ARRANQUE: Conjunto de resistencias que reducen la corriente de arranque de un motor y que se van eliminando por pasos manuales o automáticos.

REÓSTATO DE EXCITACIÓN. Elemento consistente en una resistencia variable para aumentar o disminuir corrientes de excitación tanto del motor como del generador.

TACOGENERADOR: Pequeña dínamo acoplada al eje del motor, cuya función es generar un pequeño voltaje, (el cual depende de la velocidad de rotación del eje) que es detectado por el tacómetro y mostrado por este en unidades de RPM.

TACÓMETRO: Instrumento de medición que indica las rpm de un elemento en rotación.

SEÑAL VISUAL: Elementos que indican el estado de funcionamiento o apagado de una máquina.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es diseñar y poner en marcha un plan de mantenimiento correctivo, predictivo y preventivo de los bancos de pruebas de motores monofásicos y grupo motor – generador de corriente continua pertenecientes al laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar. La información recopilada para el diseño de los planes de mantenimiento predictivo y preventivo se obtuvo principalmente (60 %) de la experiencia de ingenieros y técnicos especializados en el mantenimiento y reparación de máquinas eléctricas. El resto de la información fue recolectada a través de la investigación en libros, manuales de mantenimiento y medios informativos como internet. En primera instancia, se hizo necesario el diseño de nuevos circuitos de control y de potencia con el fin de adecuar los bancos de pruebas a las necesidades actuales. Luego de realizar los diseños fue necesario realizar un mantenimiento correctivo a los elementos defectuosos e irreparables por nuevos y modernos acordes a nuestra época y necesidades. Para lograr la máxima eficiencia y el mayor período de vida útil para los equipos pertenecientes a los bancos de prueba, fue necesario una reestructuración de las estructuras mecánicas consistente en mantenimiento general y adaptación de medios de protección contra la suciedad del medio e insectos voladores. También se instalaron planos eléctricos de fácil seguimiento con simbología eléctrica en norma

americana, dotados de señales visuales que indican el estado de funcionamiento de todos los elementos pertenecientes a los bancos. Finalmente, se elaboraron las prácticas de laboratorio concernientes a motores y generadores de corriente continua y motores monofásicos de corriente alterna.

Luego de desarrollar el trabajo, se destaca la importancia de la gestión de mantenimiento para la conservación de los bancos de pruebas y el mejor aprovechamiento de los mismos por parte de los estudiantes que cursen los laboratorios de máquinas de corriente alterna y corriente continua.

INTRODUCCIÓN

Como estudiantes de la facultad de ingeniería eléctrica de la Corporación Universitaria Tecnología de Bolívar sentimos la obligación de colaborar en el mejoramiento de nuestra facultad y de nuestra universidad.

Por lo tanto, la mejor forma que tenemos de demostrar y cumplir este deseo, es realizando un trabajo de grado que sea un aporte para lograr un mejoramiento continuo en la calidad de los estudiantes y posteriormente egresados.

Este proyecto consiste en diseñar e implantar un plan de mantenimiento integral rápido y económico para los bancos de pruebas de motores monofásicos y del grupo motor-generador de corriente continua del laboratorio de ingeniería eléctrica, optimizando su funcionamiento, rendimiento y seguridad.

El cumplimiento de este logro, hizo necesario que además de realizar un correcto mantenimiento a los motores de ambos bancos de pruebas, fuese indispensable hacer una reestructuración completa a los bancos, ya que estos son una pieza importante para que ellos cumplan sus funciones y objetivos fundamentales.

En la reestructuración de ambos bancos de prueba se tuvo la intención de modernizar todo el conjunto y a su vez obtener un mejor presentación acorde a

nuestra época. Por otra parte, la reestructuración de estos bancos se realizó con el principal objetivo de brindar una herramienta pedagógica que permita al estudiante comprender de la manera mas simple todas las formas de conexión de las diferentes máquinas pertenecientes a los bancos de prueba.

También queremos dejar al laboratorio guías practicas para que los estudiantes de ingeniería eléctrica comparen la teoría de las aulas de clase con la práctica del laboratorio.

Esperamos que este trabajo de grado logre el beneficio anhelado y ayude a que nuestra facultad y nuestra universidad siga aportando a nuestra sociedad profesionales íntegros y de excelente calidad.

1. CONSERVACIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

1.1 GENERALIDADES

La conservación de las máquinas eléctricas rotativas, motores y generadores, es la clave principal para mantener una óptima producción de cualquier industria, sin pérdidas por paradas indeseables en el proceso, causada por algún tipo de falla en una máquina eléctrica. La conservación de las máquinas tanto de corriente alterna como de corriente continua es muy similar, con la diferencia de que en las máquinas de corriente continua, el mantenimiento es un poco más extenso, debido a la misma configuración mecánica de este tipo de máquinas.

Los motores y generadores de corriente continua son semejantes en su construcción mecánica y en su funcionamiento eléctrico, de tal manera que las reglas para su cuidado y conservación son aplicables para ambas clases de máquinas.

La mayoría de las reparaciones y ajustes que se realizan en las máquinas de corriente continua, suelen ser en piezas de fácil acceso y que pueden soltarse y montarse con una herramienta sencilla. En la mayoría de los casos, las escobillas, el conmutador y los rodamientos exigen una atención más minuciosa y por lo tanto sus reparaciones son más frecuentes que las demás partes de las

máquinas. Sin embargo, estas partes no necesitarán una atención frecuente si los motores o generadores funcionan en condiciones favorables y reciben los cuidados apropiados.

Los devanados de los motores y generadores no suelen tener averías a menos que se sobrecarguen con frecuencia o que los arrollamientos sean muy viejos y estén sujetos a la acción del aceite y la suciedad.

1.2 LIMPIEZA DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

Una de las reglas más importantes para la conservación de todas las máquinas eléctricas es la de mantenerlas siempre limpias y bien lubricadas. Si se observa esta regla tan sencilla, se impedirán muchas de las averías comunes y las interrupciones en el funcionamiento de la maquinaria.

Si se deja acumular polvo y suciedad en los devanados de los motores o los generadores, se obstruirán los espacios para la ventilación y se impedirá el paso del aire necesario para el enfriamiento adecuado de la máquina. Una capa de polvo es además un aislador excelente del calor y tiende a confinar el calor desarrollado en los arrollamientos e impide su escape al exterior de la máquina.

El polvo y la suciedad absorben también y acumulan aceite y humedad. Por todas estas razones, deben mantenerse siempre limpios los devanados de todas las máquinas eléctricas, limpiándolos con un paño apropiado y soplando de vez en

cuando el polvo en lugares de difícil acceso por medio de un fuelle de mano o de aire comprimido de baja presión.

Algunas veces es necesario lavar los devanados de las máquinas para quitar el aceite o la grasa acumulada. Esto puede hacerse mediante la aplicación de productos químicos especiales para estos fines, los cuales ayudan a retirar más fácilmente la suciedad de los devanados. Después de lavados los devanados, es necesario someterlos a un proceso de secado en un horno a gas o de resistencias eléctricas, hasta que su valor de resistencia de aislamiento a tierra sea satisfactorio.

1.3 EXCESO DE ACEITE

El aceite perjudica y estropea el aislamiento de los devanados de las máquinas y no debe permitirse nunca que se deposite sobre ellos. Cuando un arrollamiento se ha empapado de aceite, es probable que haya que volverlo a devanar. En algunos casos en que el aceite no ha penetrado a demasiada profundidad, quizás sea posible quitarlo lavando el arrollamiento con producto químico especial y secándolo después completamente antes de volver a poner el arrollamiento en servicio.

Al engrasar los cojinetes de un motor o generador, debe tenerse cuidado en no llenar demasiado los recipientes, o engrasadores, con el fin de que no rebose y caiga sobre el colector o los devanados de la máquina. En el caso de una máquina de corriente continua es prácticamente imposible conseguir una buena

conmutación si el colector del motor o generador está cubierto de suciedad o aceite, pues las caras de las escobillas se recubrirán con una especie de barniz formado por el aceite o la suciedad y, en un gran número de casos, esto dará lugar a la producción de chispas excesivas. La suciedad y el aceite formarán una película de resistencia elevada sobre la superficie del colector y esto tenderá a asilar las escobillas e impedirá que hagan buen contacto.

1.4 ESTADO DE LOS RODAMIENTOS

Todos los motores dependen de un sistema mecánico para la transformación de la energía eléctrica en mecánica o trabajo. Las averías en los rodamientos son probablemente la causa de más paradas, retrasos y gastos en los motores que ninguna otra causa. Esto generalmente se debe a que los rodamientos, son a menudo afectados por una cimentación defectuosa, falta de alineación, vibraciones, empujes debidos a los acoplamientos, suciedad, demasiada o escasa lubricación, o a la mala calidad del lubricante.

Un motor que presente problemas en sus rodamientos o en alineación tendrá como consecuencia la presencia de corriente de sobrecarga, la cual producirá un sobrecalentamiento del motor y su posible daño total por quemadura del devanado.

El primer requisito para que un rodamiento funcione bien, es que presente un buen ajuste en la camisa y una buena lubricación. Esto supone algo mas que

proporcionar al rodamiento una cantidad adecuada de lubricante; es necesario que el lubricante, el diseño del rodamiento y su estado sean correctos. La temperatura máxima de los rodamientos en las condiciones normales de funcionamiento es de 40 a 50 grados centígrados. A esta temperatura, un rodamiento comunica una sensación agradable de calor a la mano cuando se pone la mano encima de él.

1.5 TEMPERATURA DE LOS DEVANADOS

La temperatura de los devanados de las máquinas debe verificarse con frecuencia para ver si no están demasiado calientes, en el momento que la máquina está en pleno funcionamiento, es decir, que su temperatura no exceda en 40 o 50 grados centígrados.

1.6 PROTECCIÓN DE LAS MÁQUINAS CONTRA LA HUMEDAD

La humedad o el agua representan siempre una amenaza para el aislamiento y el funcionamiento de la maquinaria eléctrica y, por esta razón, deben protegerse muy bien las máquinas para impedir el contacto del agua con los arrollamientos y los colectores en el caso de las máquinas de corriente continua. Si un motor o generador de corriente continua, está instalado en un sitio en que el agua puede gotear sobre el colector, es muy probable que se produzcan chispas muy fuertes y que sufran daños las escobillas y el colector.

Si los arrollamientos de una máquina se mojan o humedecen, deben secarse muy bien, ya sea poniéndolos durante un tiempo en un horno o haciendo pasar por la

máquina una corriente continua de bajo voltaje para secarlos. Cuando una máquina es demasiado grande para ponerla en un horno, o no se dispone de este, puede ponerse en la máquina algún dispositivo que impida su rotación y aplicar después, por intermedio de un reóstato, una corriente continua de bajo voltaje de la intensidad correcta para secar el arrollamiento.

Debe evitarse la entrada de agua en los engrasadores y en los rodamientos, ya que no es un buen lubricante y puede producir averías graves si se mezcla con el aceite.

A continuación se mencionan cuidados especiales solo para motores y generadores de corriente continua y el motor universal.

1.7 ESTADO DE ESCOBILLAS

Las escobillas deben inspeccionarse con frecuencia a menudo para ver si asientan bien sobre el colector y si la tensión de los resortes es adecuada. La presión de las escobillas tiene una gran influencia en el desgaste de las mismas, debiendo ser ajustada según las condiciones de trabajo, es decir, tipo y uso de la máquina, así como material y sección de las escobillas. En general, la presión de la escobilla deberá ser más alta, cuanto mayores sean las vibraciones a la que esté sometida la máquina. En consecuencia, la presión óptima de la escobilla ha de ser elegida de forma que cause el mínimo desgaste, tanto de ésta como del

colector, pero que al mismo tiempo garantice un perfecto contacto entre escobilla y colector.

1.8 REBAJE DE LA MICA

Si la mica del colector sobresale demasiado, debe corregirse este defecto, ya sea empleando escobillas de un tipo apropiado para mantener la mica rebajada o cortando la mica con una herramienta apropiada para este fin.

La mica de los colectores de las máquinas pequeñas puede rebajarse a mano con un trozo de hoja de sierra para metales provista de un mango. La mica debe cortarse en ángulo recto con movimientos lentos y suaves de la sierra, mantenida en posición horizontal. No debe cortarse la mica demasiado profundo, pues entonces existiría alguna tendencia a acumularse en las ranuras el polvo y la suciedad y se producirían cortocircuitos entre las delgas del colector.

1.9 RECTIFICACIÓN Y PULIMENTO DE COLECTORES

Si la superficie de un colector se vuelve basta y con picaduras, puede limpiarse con papel de lija de grano fino. Las manchas pequeñas de suciedad o los puntos ligeramente quemados por las chispas pueden quitarse manteniendo un trozo de papel de lija contra el colector mientras la máquina está marchando.

Si el colector necesita lijarse mucho, debe hacerse esta operación con un bloque cuya superficie esté curvada, de modo que se adapte al colector con el fin de

mantener el papel de lija en forma que iguale los hoyos o puntos salientes de las delgas y el colector adquiriera una superficie redondeada.

Pueden obtenerse piedras especiales para rectificar o pulir la superficie de los colectores. Esas piedras consisten en un bloque de material abrasivo provisto de mangos para facilitar su aplicación a la superficie del colector. Estas piedras pueden obtenerse de diferentes tamaños y grados de dureza para usarlas en las máquinas con colectores de diferentes diámetros y distintas velocidades superficiales.

Si un colector está bastante picado o quemado, o ha perdido su forma redonda, quizás sea necesario desmontar el inducido de la máquina y torneear el colector. Cuando se rectifique un colector en un torno, debe quitarse solo el cobre que sea absolutamente indispensable, porque incluso un corte muy ligero con la herramienta de torno sacará mas cobre de las delgas que varios años de desgaste ordinario de la máquina.

En el proceso de rectificación, el inducido debe centrarse minuciosamente para que gire perfectamente centrado en el torno y la herramienta debe ajustarse para que quite solamente una capa muy delgada de cobre, no mas gruesa que un papel fino. Si la primera pasada no hace desaparecer los puntos desiguales, puede hacerse otra pasada.

Los colectores no deben rectificarse, a menos que no exista otro recurso, es decir, cuando están muy ovalados y las desigualdades en su superficie por puntos picados o sectores quemados sean demasiado grandes.

2. PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LOS BANCOS DE PRUEBAS

2.1 GENERALIDADES

El plan de mantenimiento predictivo para los bancos de pruebas (grupo motor generador de corriente continua y motores monofásicos) está dividido en dos áreas. La primera es el área de las máquinas motrices, es decir motores, generadores y tacogeneradores. El segundo área del plan de mantenimiento predictivo, lo conforman los elementos de maniobra, mando y control.

2.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LAS MÁQUINAS

El plan de mantenimiento predictivo para las máquinas, consiste en hacer un seguimiento periódico de todas sus características, que permita establecer un diagnóstico del estado actual de la misma y con base en éste realizar el mantenimiento preventivo apropiado para la conservación de las mismas.

Es importante destacar que en este tipo de mantenimiento no existe desarme de la máquina y se deja un registro del comportamiento de la misma a lo largo de su ciclo de trabajo.

Las pruebas que deben realizarse a las máquinas de ambos bancos de pruebas, son las siguientes:

1. Prueba de resistencia de aislamiento a tierra.
2. Verificación del valor de resistencia óhmica de todos los devanados.
3. Verificación de ruidos anormales en los rodamientos.
4. Verificación de temperatura excesiva en los rodamientos.
5. Verificación de vibraciones mecánicas excesivas.
6. Verificación de corriente de arranque de los motores.
7. Verificación de la corriente de trabajo del motor DC en sus diferentes conexiones a una carga determinada.
8. Verificación de la corriente de trabajo del generador en sus diferentes conexiones a una carga determinada
9. Verificación de la corriente de trabajo de los motores monofásicos.
10. Verificación de la presencia de chispas excesivas en el colector.
11. Verificación del estado del colector.
12. Verificación del estado de las escobillas, es decir, longitud y presión sobre el colector.
13. Verificación de ajuste de las máquinas a sus respectivas bases.
14. Medición del índice de polaridad.

Para el tacogenerador deben realizarse las pruebas 3, 4, 9, 10, 11 y 12 mencionadas anteriormente.

Teniendo en cuenta que el ciclo de trabajo de las máquinas es de 3 horas semanales aproximadamente, se presenta a continuación el plan de mantenimiento predictivo para las máquinas.

Cuadro 1. Plan de mantenimiento predictivo de las máquinas de los bancos de

No	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	SEMANAS															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		HORAS DE TRABAJO															
		0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
1	Medición de resistencia de aislamiento a tierra	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Medición de resistencia óhmica de devanados	X			X			X			X			X			X
3	Verificación de ruidos anormales en los rodamientos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Verificación de temperatura excesiva en los rodamientos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Verificación de vibración mecánica excesiva	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Verificación de corriente de arranque de motores	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Verificación de corriente de trabajo del motor DC en sus diferentes conexiones a una carga de 1200 W *	X								X							X
8	Verificación de corriente de trabajo del generador DC en sus diferentes conexiones a una carga de 1200 W *	X								X							X
9	Verificación de corriente de trabajo de los motores Monofásicos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	Verificación de chispas en el colector *	X								X							X
11	Inspección del colector *	X								X							X
12	Inspección de escobillas *	X								X							X
13	Verificación del ajuste de las máquinas a sus bases	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	Medición del índice de polaridad.	X			X			X			X			X			X

* Pruebas exclusivas para máquinas de corriente continua y motor universal

2.3 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LAS MÁQUINAS

Debido a que estas máquinas permanecen estacionarias durante 6 días a la semana, es de especial atención, el seguimiento de la resistencia de aislamiento a tierra (prueba 1). Es importante este seguimiento debido a que en el momento que se trabaja con las máquinas, sus devanados y el núcleo están a una temperatura superior a la de ambiente, y cuando se suspende el trabajo, por razones de diferencia de temperatura, sucede un fenómeno de condensación que produce la absorción de humedad en la máquina y por consiguiente la pérdida de resistencia de aislamiento a tierra. Una alternativa para evitar, la pérdida de resistencia de aislamiento a tierra por absorción de humedad, es mantener constantemente, el devanado de campo del motor (en motores DC) sometido a una tensión adecuada, que le permita tener una corriente circulante y por consiguiente mantener una temperatura superior o por lo menos igual a la temperatura ambiente. Lo anterior evitaría cualquier tipo de condensación en los devanados de la máquina.

Si por alguna circunstancia, cualquiera de las máquinas presenta un valor de resistencia de aislamiento a tierra inferior a $1\text{ M}\Omega$, en cualquiera de sus devanados, se debe proceder a un proceso de recuperación de este valor de resistencia, por medio de un mantenimiento preventivo adecuado.

La prueba 1 (Medición de la resistencia de aislamiento a tierra), del plan de mantenimiento predictivo, debe ser realizada por los estudiantes antes de iniciar cada práctica. Esta prueba se realiza con la ayuda de un medidor de lectura directa o Megger. Se utilizará para las máquinas de los banco de pruebas, un megger de 600 V .

La prueba 2 (medición de la resistencia óhmica de los devanados), del plan de mantenimiento predictivo, puede ser realizada con un puente de alta precisión, un óhmetro ó utilizando la ley de ohm, aplicando a los devanados una tensión de corriente continua y midiendo la corriente que circula por cada uno de ellos. Esta prueba puede ser realizada por los estudiantes o por el auxiliar de laboratorio en el tiempo especificado en el plan de mantenimiento predictivo. Se recomienda que la prueba se efectúe siempre por el mismo método para no obtener errores de precisión, debido a la diferencia de instrumentos que se utilicen. El objetivo principal de esta prueba es verificar que no exista corto circuito entre espiras o que el devanado no se encuentre recalentado, lo cual se hace evidente ante un cambio en el valor de la resistencia de los devanados. Esta prueba se realiza antes de energizar el motor.

Las pruebas 3, 4 y 5 (Verificación de ruidos anormales, temperatura y vibración mecánica excesiva en los rodamientos), deben ser realizadas utilizando equipos especializados para la detección de ruidos, temperatura y vibraciones mecánicas. Debido a que el laboratorio de máquinas eléctricas de la CUTB no cuenta con estos equipos, estas pruebas se realizarán por inspección manual y a juicio de

quien realice la prueba. Esta prueba debe ser realizada por los estudiantes en cada práctica y tiene como objetivo, verificar que los rodamientos trabajen en condiciones normales y por lo tanto, evitar la presencia de corrientes de sobrecarga en el motor.

La prueba 6 (verificación de la corriente de arranque del motor DC) del plan de mantenimiento es muy importante y debe hacerse cada vez que se arranque el motor, ya que un incremento de la misma, indica que posiblemente uno o más pasos de resistencia pueden estar cortocircuitados. Lo anterior puede observarse también si el motor arranca con demasiada aceleración, es decir, que el motor supera el valor de velocidad nominal (1450 rpm) antes de cumplir su ciclo normal de arranque.

Las pruebas 7 y 8 (Verificación de corriente de trabajo del motor DC y generador DC en sus diferentes conexiones a una carga de 1200 W), deben realizarse en el tiempo descrito en el plan de mantenimiento predictivo y es muy importante anotar correctamente las mediciones de corriente de cada conexión tanto del motor como el generador bajo las mismas condiciones de carga (1200 W), ya que un aumento de esos valores indica la presencia de algún problema mecánico en los rodamientos ó algún problema de tipo eléctrico en los devanados.

La prueba 9 (Verificación de la corriente de arranque), debe realizarse a los motores monofásicos en cada maniobra de arranque, para verificar que el motor no presente ningún tipo de problemas.

Las pruebas 10, 11 y 12 (Verificación de chispas en el colector, estado del colector y escobillas), pueden realizarse fácilmente mediante inspección visual y manual levantando una de las tapas laterales del motor o generador. El colector debe inspeccionarse con los dedos para verificar que no se encuentre acanalado.

La prueba 13 (verificación del ajuste de las máquinas a sus bases) debe realizarse a cada una de las máquinas antes de energizarlas en ambos bancos de prueba.

La prueba 14 (medición del índice de polaridad) debe realizarse a cada uno de los devanados de las máquinas y ésta indica el nivel de contaminación de los mismos. Una máquina con un índice de polaridad bajo (menor de 1.5) indica que la máquina pierde la resistencia de aislamiento a tierra con demasiada rapidez. Para realizar esta prueba, primero se mide la resistencia de aislamiento a tierra por un minuto (utilizando el megger) y se anota el valor respectivo. Luego se repite la medición pero por un tiempo de 10 minutos y se anota el valor obtenido. El índice de polaridad se obtiene de dividir el resultado obtenido en la prueba de 10 minutos entre el obtenido en la prueba de 1 minuto.

Todos los resultados de las pruebas anteriores deben ser anotadas y archivadas para lograr llevar un control eficiente del comportamiento de las máquinas y establecer el plan de mantenimiento preventivo de las mismas

2.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA, MANDO Y CONTROL DE LOS BANCOS DE PRUEBAS

Un plan de conservación de elementos de maniobra, mando y control depende de su ciclo de trabajo y del medio ambiente que los rodea, por lo tanto, debido al poco trabajo al que están sometidos los elementos de maniobra del circuito de control del banco de pruebas y a la forma en que han sido dispuestos los elementos, de tal manera que están protegidos de la suciedad e insectos, el plan de mantenimiento predictivo de los mismos, es mínimo. Las pruebas que se deben realizar son las siguientes:

1. Verificación de continuidad en pulsadores de arranque, parada y emergencia.
2. Verificación de continuidad y no continuidad en contactos normalmente cerrados y normalmente abiertos respectivamente.
3. Verificación de la resistencia de los reóstatos de excitación e inspección visual de los mismos.
4. Verificación del valor óhmico de las resistencias de arranque.
5. Verificación del estado de las señales visuales tanto del panel de control como del plano eléctrico.
6. Verificación de ruido o vibración en la armadura de los contactores al ser energizados.
7. Verificación de los tiempos de temporización de los contactores temporizados
8. Verificación del funcionamiento de los instrumentos de medición.
9. Verificación del estado de los condensadores

Cuadro 2. Plan de mantenimiento predictivo para los elementos de maniobra de los bancos de prueba

No	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Verificación de continuidad en pulsadores de arranque, parada y emergencia.		X							X								X
2	Verificación de continuidad y no continuidad en contactos NC y NO respectivamente		X							X								X
3	Verificación de resistencia de los reóstatos de excitación *		X							X								X
4	Verificación del valor óhmico de las resistencias de arranque *		X							X								X
5	Verificación de señales visuales del panel de control y plano eléctrico		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	Verificación de ruido o vibración en la armadura de los contactores al ser energizados		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	Verificación de los relés de sobrecarga y de los tiempos de temporización de los temporizadores.		X							X								X
8	Verificación del funcionamiento de los instrumentos de medición y fusibles		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Verificación del estado de los condensadores		X							X								X

* Solo se realizan para el banco de pruebas del grupo motor-generator de corriente continua

2.5 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA ELEMENTOS DE MANIOBRA DE LOS BANCOS DE PRUEBAS

Las pruebas 1, 2, 3, y 4 (verificación de continuidad en pulsadores, en contactos NO y NC, verificación de resistencia en reóstatos de excitación y valor óhmico de resistencias de arranque) del mantenimiento predictivo, deben ser realizadas por el auxiliar de laboratorio y para ello se hace necesario desmontar la lámina de acrílico de la parte frontal y la lámina que se encuentra en la parte posterior de cada banco.

La prueba 1, consiste en verificar la continuidad y no continuidad de los contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados de los pulsadores de arranque, parada y emergencia. Para realizar esta prueba se debe retirar la lámina posterior del banco.

La prueba 2, consiste simplemente en verificar continuidad y no continuidad de los contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados de cada uno de los contactores instantáneos y temporizados del banco de pruebas. Para realizar esta prueba se debe retirar la lámina de acrílico de la parte frontal del banco de pruebas.

La prueba 3 se realiza inspeccionando visualmente el estado de los reóstatos y midiendo la resistencia de los mismos variándolos desde su valor mínimo hasta

su valor máximo. Ambos reóstatos tienen un valor óhmico entre 0 y 500 ohmios aproximadamente. Se debe retirar la lámina posterior para efectuar esta prueba.

Para realizar la prueba 4, es decir, los valores óhmicos de las resistencias de arranque se debe retirar la cubierta frontal de acrílico y medir entre los contactos normalmente abiertos de CR1 (terminales 11 y 12), CR2 (terminales 12 y 13) y entre (13 en CR2 y 50 en CR3). Los valores de resistencia fueron ajustados aplicando tensión continua a las resistencias y midiendo la corriente que circulaba por cada una de ellas, y mediante la ley de ohm $R = V/I$. Es probable que los valores de la medición con el multímetro no correspondan con exactitud al valor real de las resistencias. Los valores aproximados que se deben encontrar son:

R1, entre 11 y 12 en CR1: 3.6Ω .

R2, entre 12 y 13 en CR2: 2.6Ω .

R3, entre 13 en CR2 y 50 en CR3: 1.9Ω

Las pruebas 5, 6, 7 y 8, (verificación de señales visuales, ruidos en la armadura de contactores, verificación de relés de sobrecarga y tiempos de temporización e instrumentos de medición y fusibles), consisten simplemente en una inspección visual y auditiva de los contactores, señales visuales y elementos de medición.

Los relés de sobrecarga deben ser revisados en sus respectivos contactos (continuidad) y además verificar el funcionamiento del dispositivo de disparo. Los fusibles deben ser sometidos a pruebas de continuidad en caso de que no

funcione algo específico en el circuito de control o en el circuito potencia. Estas pruebas deben ser realizadas por los estudiantes en el transcurso de cada práctica. En caso de alguna anomalía, se debe informar inmediatamente al auxiliar de laboratorio para la ejecución del respectivo plan de mantenimiento o reemplazo. En el caso de los elementos de medición, se debe revisar siempre que estén ajustados a cero, para no incurrir en errores en la medición.

La prueba 9 (verificación de estado de condensadores) del plan de mantenimiento predictivo, consiste en verificar el estado de los condensadores del banco de pruebas de motores monofásicos. Este debe ser realizada por el auxiliar de laboratorio y no es necesario el desmonte de los condensadores para tal efecto, ya que los bornes de los mismos se encuentran en el panel de control y se indican mediante pequeñas placas de identificación.

Las pruebas que se deben realizar a los condensadores son:

- Prueba de condensador en cortocircuito
- Prueba de condensador en circuito abierto
- Valor de la capacitancia (μF)
- Factor de potencia

Para la prueba de cortocircuito, debe conectar el condensador en serie con un fusible adecuado de 115 voltios y 60 Hz. Si el condensador está en *cortocircuito*, se fundirá el fusible.

Para el caso de circuito abierto, mida la corriente que circula por los condensadores, si no puede ser medida ninguna corriente, el condensador está en circuito abierto.

Si puede leer un valor de la corriente absorbida, la capacitancia en microfaradios puede ser determinada mediante la expresión (para 60 Hz):

$$\text{Capacidad (uF)} = 2650 \times I \text{ (amperios)} / \text{Tensión aplicada}$$

El factor de potencia no debe ser superior a 0.1 y generalmente será inferior si el condensador está en buenas condiciones. Para determinar el factor de potencia, es necesario utilizar las lecturas tomadas, de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Factor de potencia} = \text{Vatios} / [V \text{ (voltios)} \times I \text{ (amperios)}]$$

3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS BANCOS DE PRUEBAS

3.1 GENERALIDADES

El diseño del plan de mantenimiento preventivo de los bancos de pruebas (grupo motor generador de corriente continua – motores monofásico), al igual que el mantenimiento predictivo, se divide en dos áreas, la primera el área de las máquinas y la segunda el área de los elementos de maniobra del mismo.

El diseño de todo plan de mantenimiento preventivo depende principalmente del ciclo de trabajo de la máquina, y del plan de mantenimiento predictivo que se realice.

3.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS

Teniendo en cuenta, que las máquinas pertenecientes a estos bancos de pruebas trabajan aproximadamente 45 horas en un período académico, el desgaste de todos sus componentes eléctricos y mecánicos es mínimo, razón por la cual, el mantenimiento preventivo podría realizarse cada 5 años. Sin embargo dependiendo de los resultados que arroje el mantenimiento predictivo este tiempo podría extenderse o acortarse.

Como se menciona anteriormente, es posible que el mantenimiento preventivo de cualquiera de las máquinas pertenecientes a los bancos de prueba deba realizarse antes de los 5 años estipulados, ya que alguna de las máquinas podría presentar algún tipo de falla eléctrica o mecánica.

En el caso de que alguna de las máquinas pertenecientes a los bancos de prueba, presente un valor de resistencia de aislamiento a tierra inferior a $1\text{ M}\Omega$, ésta debe someterse inmediatamente a un proceso de recuperación de éste valor. El método más común, para recuperar el valor de la resistencia de aislamiento a tierra, es calentando la máquina en un horno, después de que todos sus devanados hayan sido lavados con producto químico especial. Este método consiste básicamente en introducir la máquina por un período aproximado de una hora a 100 grados centígrados en un horno para extraer la humedad de la máquina. El tiempo de calentamiento de la máquina depende del nivel de humedad que ésta tenga y se debe prolongar hasta conseguir un valor de resistencia de aislamiento a tierra, tendiente a infinito. Es importante tener en cuenta que para introducir la máquina en un horno, ésta debe ser desarmada previamente ya que si se introduce la máquina completa, los rodamientos podrían sufrir daños irreversibles que harían necesario su reemplazo inmediato. Por lo tanto si se ha llegado al punto de desarmar la máquina, se debe realizar simultáneamente el mantenimiento preventivo de la misma.

Otro motivo por el cual la máquina debe desarmarse, es que el mantenimiento predictivo muestre un cambio en el valor de la resistencia óhmica de uno o de todos sus devanados. Un cambio en la resistencia óhmica implica posiblemente la aplicación de un mantenimiento correctivo, si se llega a la determinación de rebobinar el devanado averiado por un cortocircuito entre espiras o por recalentamiento excesivo del mismo. Por lo anterior, sea el caso de rebobinar o no rebobinar la máquina, se debe realizar inmediatamente un mantenimiento preventivo.

Los rodamientos generalmente vienen contruidos con una vida útil de 3000 horas en adelante, razón por la cual, nos indica que el banco de pruebas no debería tener este tipo de problemas por muchos años. Sin embargo, en el caso de presentarse un problema en los rodamientos de cualquiera de las máquinas, que se refleje a través de temperatura excesiva, ruidos extraños o excesiva vibración, se debe desarmar la máquina y realizar el mantenimiento preventivo a la misma.

Aún en el caso de que un periodo de 5 años, el mantenimiento predictivo no muestra ningún tipo de comportamiento anormal, se debe realizar el mantenimiento preventivo que se describe a continuación y que debe ser realizado en un taller especializado.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS

1. Desarme de la máquina. En este proceso es importante marcar las tapas y la carcasa del motor con un elemento puntiagudo y un martillo. Las marcas en la carcasa solo deben coincidir con la tapa correspondiente de tal forma que no exista riesgo de cometer algún error al armarla nuevamente.
2. Medición de la resistencia de aislamiento a tierra. Esta medición se puede realizar utilizando un megger o un probador computarizado especializado en el diagnóstico de embobinados. Esta prueba es conocida con el nombre de prueba de rigidez dieléctrica.
3. Detección de posibles espiras en corto en los devanados. Esta prueba se realiza con un instrumento computarizado especializado en el diagnóstico de embobinados.
4. Prueba de cortocircuito entre delgas de la armadura. Esta prueba determina la presencia de corto circuitos en el devanado del inducido y puede realizarse manualmente con la utilización de una fuente de voltaje y una lámpara incandescente ó de manera más simple y precisa a través de un instrumento computarizado especializado en el diagnóstico de embobinados.
5. Inspección minuciosa del colector. Un colector que presente un acanalamiento tenue, puede ser sometido a pulimento con piedras especiales para tal objetivo. Si el colector se encuentra con vestigios de chispas excesivas, indica que éste puede estar ovalado y debe ser rectificado en un torno. Otra causa de vestigios de chispas podría ser que la máquina tenga problemas en sus devanados de conmutación (interpolos) o por poca longitud de las escobillas. Luego de que un colector sea pulido o rectificado se debe limpiar,

minuciosamente entre sus delgas para evitar corto circuitos por posibles residuos o virutas.

6. Inspección de las escobillas. Se debe inspeccionar, que la longitud de las escobillas sea adecuada para ofrecer una presión suficiente sobre el colector. Si las escobillas presentan un desgaste desigual, es posible que la máquina esté trabajando con escobillas de diferente calidad y en cuyo caso, se debe unificar la calidad de las mismas. También es posible que el desgaste desigual de escobillas se deba a una distribución no uniforme de la corriente debido a diferencia de presión de las escobillas sobre el colector.
7. Verificación del estado del portaescobillas y de los resortes de sujeción de las escobillas. Una vez realizada la inspección se realiza un mantenimiento general al porta escobillas que consiste en limpieza general de los componentes del mismo.
8. Verificar que la mica no sobresalga en el colector. En caso de que sobresalga se debe realizar el procedimiento descrito en la sección 1.8.
9. Inspección visual del aislamiento del motor. Esta prueba consiste en verificar visualmente la condición en que se encuentra la fibra que aísla el devanado de las piezas polares o núcleo de la máquina. Si la fibra se encuentra en un estado avanzado de deterioro, es obligatorio el rebobinado de la máquina.
10. Verificación de excentricidad del eje del rotor. Esta prueba busca principalmente, comprobar que el eje del motor no se encuentre torcido. Un problema de esta naturaleza, trae como consecuencia desalineamiento en la máquina y daño progresivo de rodamientos y camisas, que se traduce en corrientes de sobrecarga, que producen calentamiento en el motor y que

pueden llegar a producir el daño total de la máquina. Un eje torcido también podría ocasionar un rozamiento entre el rotor y el estator de la máquina, situación que obliga al rebobinado completo de la misma tanto en el rotor como el estator.

11. Inspección de la carcasa. En esta prueba se hace una inspección visual del estado de las tapas y de la carcasa de la máquina tanto en su parte exterior como en su parte interior. En caso de encontrar alguna rajadura o grieta, la parte defectuosa debe ser sometida inmediatamente a reparación.
12. Inspección de los rodamientos y sus respectivos ajustes en las camisas. Generalmente, en cada desarme de una máquina, los rodamientos deben ser reemplazados sin importar el tiempo de servicio.
13. Lavado de todos los devanados, y de la máquina en general con solventes o productos químicos especiales.
14. Horneado de la máquina (excluyendo los rodamientos) para recuperación de la resistencia de aislamiento a tierra.
15. Una vez horneado el motor, se debe verificar nuevamente el estado de sus devanados y el valor de la resistencia de aislamiento a tierra. Si todos los resultados son satisfactorios, se procede a cubrir todos los devanados y el inducido (excluyendo el colector) con un barniz dieléctrico especial para reforzar el aislamiento de la máquina.
16. Posteriormente Se procede al secado de la máquina que puede ser opcionalmente en un horno.
17. Finalmente, se arma la máquina, teniendo cuidado de que las partes correspondan a su estado original.

18. Determinación de la zona neutra geométrica. Después de todo el mantenimiento preventivo o correctivo de una máquina de corriente continua, es imprescindible determinar su zona neutra geométrica para evitar el exceso de chispas en el colector y su progresivo deterioro. Este proceso se describe en la sección 5.2.1.
19. Pruebas de funcionamiento. Una vez armada la máquina, se realizan pruebas de funcionamiento, en donde, se verifica que no existan sonidos extraños en su funcionamiento y que otras características como valores de corriente y velocidad sean correctos.
20. Pintura de las máquinas.
21. Finalmente después de realizar el mantenimiento preventivo a las máquinas de los bancos de pruebas, se deben acoplar y asegurar que queden perfectamente alineados (en el caso el grupo motor generador) y ajustados a sus bases.

Las actividades 4, 5, 6, 7, 8, 14 y 17, son exclusivas de las máquinas de corriente continua y el motor universal.

3.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA DE LOS BANCOS DE PRUEBA

El plan de mantenimiento preventivo de los elementos de maniobra de ambos bancos de prueba, está determinado por: su ciclo de trabajo, por el medio que los rodea y por los resultados que presente el mantenimiento predictivo.

Este plan de mantenimiento debe realizarse cada 5 años y consiste principalmente en desmontar los elementos de maniobra del banco de pruebas y someterlos a limpieza general de todos sus componentes. Este período de tiempo debe acortarse, si el mantenimiento predictivo muestra un comportamiento anormal del banco de pruebas o si existe excesiva suciedad en los elementos de maniobra.

El plan de mantenimiento preventivo a seguir es el siguiente.

1. Inspección visual de todas las señales visuales.
2. Desmonte de los elementos pertenecientes al panel de control.
3. Medición del valor óhmico de las resistencias de arranque.
4. Desmonte de los elementos del tablero control.
5. Verificación del estado de los instrumentos de medición.
6. Montaje de todos los elementos de acuerdo al diagrama de cableado personal o existente.
7. Prueba de funcionamiento de todos los elementos del banco.

3.5 DESCRIPCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA DE LOS BANCOS DE PRUEBA

1. Inspección visual de todas las señales visuales. Para verificar el estado de la señales visuales, se debe energizar todo el circuito de control de cada banco y no es necesario que estén conectadas las máquinas. Si existen señales que no

se encienden, se debe comprobar que llegue tensión a dichos elementos. Todas las señales visuales del banco de pruebas se alimentan a 120 V AC. En caso de que si reciban tensión y no se enciendan, deben reemplazarse teniendo en cuenta que para evitar recalentamiento de dichas señales, los bancos de prueba están equipados con bombillos de 220 V AC.

2. Desmonte de los elementos pertenecientes al panel de control. Antes de desmontar los elementos es necesario que se deje un registro escrito de las conexiones. A pesar de que existe un diagrama de cableado con todas sus conexiones especificadas, es importante siempre en toda ocasión que se desconecten elementos, realizar un diagrama personal, que indique las conexiones existentes. Una vez desmontados todos los elementos del panel de control, deben ser sometidos a limpieza general todos sus contactos con producto químico especial. Los elementos que hacen parte de este panel son los pulsadores de arranque, parada y emergencia, señales visuales y reóstatos de excitación. Una vez realizada la limpieza se debe verificar su correcto funcionamiento para su posterior montaje. En el caso, de que los elementos estén en avanzado estado de deterioro, se deben reemplazar inmediatamente.

3. Medición del valor óhmico de las resistencias de arranque. El proceso para esta verificación se expone en el plan de mantenimiento predictivo y se realiza exclusivamente para el banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua.

4. Desmonte de los elementos del tablero control. Se debe realizar el proceso descrito anteriormente (diagrama personal). Una vez desmontados todos los contactores, se procede a desarmarlos completamente para verificar el estado de la bobina, armadura y contactos. Los temporizadores no deben ser desarmados, ya que estos funcionan por principio neumático y pueden sufrir daños irreparables. Solo se debe revisar sus contactos y limpiarlos con producto especial para los mismos. Los relés de sobrecarga deben revisarse para verificar si su sistema de disparo está correcto y de ser así, se someten a mantenimiento general. Pertenecen también a este tablero los breakers, que debe ser sometidos a mantenimiento general y los fusibles que deben ser revisados para ver si están en buen estado.

5. Verificación del estado de los instrumentos de medición. Esta verificación puede hacerse teniendo otros instrumentos como patrón de referencia. En el caso de que todos estén en buen estado, se deben dejar ajustados a cero.

6. Montaje de todos los elementos de acuerdo al diagrama de cableado personal o al perteneciente al banco.

7. Prueba de funcionamiento de todos los elementos del banco.

4. MANTENIMIENTO REALIZADO A LOS BANCOS DE PRUEBAS

4.1 GENERALIDADES

El estado en que se encontraron ambos bancos de prueba, no era satisfactorio, ya que sus elementos de maniobra, estructuras mecánicas y máquinas eléctricas estaban en avanzado estado de deterioro, producto de la no implementación de un adecuado plan de mantenimiento predictivo y preventivo para todo el conjunto. En general, el mantenimiento efectuado a los bancos de pruebas se dividió en las siguientes áreas:

- Mantenimiento preventivo de máquinas eléctricas.
- Diseño de nuevos circuitos de control y potencia de ambos bancos de pruebas
- Mantenimiento preventivo de elementos de maniobra y de medición.
- Mantenimiento preventivo y reestructuración de las estructuras mecánicas.

4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS MÁQUINAS

Las máquinas de ambos bancos de pruebas, fueron sometidas a un mantenimiento preventivo y correctivo completo, con el objeto de que éstas presten un servicio óptimo, continuo y seguro tanto para los operarios como para si mismas.

4.2.1 Mantenimiento preventivo para el grupo motor-generador de corriente continua. El mantenimiento preventivo realizado al grupo motor – generador de corriente continua se describe a continuación.

1. Desarme de las máquinas.
2. Medición de la resistencia de aislamiento a tierra. Esta medición se realizó con un probador computarizado especializado en el diagnóstico de embobinados. El valor obtenido para todos sus devanados fue inferior a 1 M Ω , razón por la cual se realizó el proceso de recuperación apropiado para ambas máquinas. Ver sección 3.2.
3. Detección de posibles espiras en corto en los devanados. Esta prueba se realizó con un instrumento computarizado especializado en el diagnóstico de embobinados. El resultado de la prueba fue satisfactorio, es decir, todos los devanados de ambas máquinas se encontraron en buen estado.
4. Prueba de cortocircuito entre delgas de la armadura. Esta prueba determina la presencia de corto circuitos en el devanado del inducido y se realizó utilizando un instrumento computarizado especializado en el diagnóstico de embobinados. El resultado de la prueba fue satisfactorio para ambas máquinas.

5. Inspección minuciosa del colector. Los colectores de ambas máquinas se encontraron acanalados y con excentricidad (ovalados), por tal motivo, se sometieron a un proceso de rectificación en torno. Luego de que ambos colectores fueron rectificadas, se sometieron a limpieza minuciosa entre sus delgas para evitar corto circuitos por posibles residuos o virutas.
6. Inspección de las escobillas. La longitud que presentaban las escobillas de ambas máquinas fue satisfactoria (aproximadamente 2 cms). Por tal razón Se colocaron las mismas y se asentaron a su respectivo colector una vez que las máquinas fueron armadas.
7. Inspección del portaescobillas y de los resortes de sujeción de las escobillas. El estado del portaescobillas y de los resortes fue satisfactorio. Por lo tanto, se sometió a mantenimiento general.
8. Inspección de la mica el colector. La mica en ambos colectores de las máquinas no presentó salientes entre las delgas. Sin embargo éstas fueron rebajadas en el proceso de limpieza de las delgas, después del rectificado de los colectores.
9. Inspección visual del aislamiento de las máquinas. El estado en que se encontró la fibra que aísla el devanado de las piezas polares o núcleo de la máquina fue satisfactorio.

10. Verificación de excentricidad de los ejes de los rotores. Los ejes de los rotores de ambas máquinas se encontraron en buen estado. Para ambos ejes se les hizo la prueba de excentricidad, montados en un torno y con un indicador de carátula.
11. Inspección de la carcasa. Las carcasas de ambas máquinas se encontraron en buen estado, es decir, sin ningún tipo de rajadura.
12. Inspección de los rodamientos y sus respectivos ajustes en las camisas. Los rodamientos de ambas máquinas fueron reemplazados y el estado de las camisas fue satisfactorio.
13. Lavado de todos los devanados, rotor y de la máquina en general con producto químico especial.
14. Horneado de la máquina (excluyendo camisas y rodamientos) para recuperación de la resistencia de aislamiento a tierra.
15. Pruebas eléctricas a los devanados del motor. Después de horneadas las máquinas se repitieron las pruebas de aislamiento a tierra y de los devanados. El resultado fue satisfactorio. El valor de la resistencia de aislamiento a tierra 24 horas después de horneadas las máquinas fue en promedio de 200 M Ω para todos los devanados.

16. Cubrimiento de todos los devanados y el inducido (excluyendo el colector) con barniz dieléctrico especial para reforzar el aislamiento de la máquina.
17. Proceso de secado de la máquina.
18. Armada de las máquinas
19. Determinación de la zona neutra geométrica de ambas máquinas.
20. Pruebas de funcionamiento. Una vez armada la máquina, se realizaron pruebas de funcionamiento, en donde, se verificó que no existieran sonidos extraños en su funcionamiento y que otras características como valores de corriente y velocidad eran correctas.
21. Pintura de las máquinas.
22. Acople del grupo motor – generador – tacogenerador a la estructura mecánica del banco de pruebas. Este acople se realizó de tal manera que el grupo quedó alineado y evitar que se presenten problemas posteriores en los rodamientos.

4.2.2 Mantenimiento preventivo para los motores monofásicos. A todos los motores pertenecientes a este banco, se les realizó mantenimiento preventivo (motor de fase partida, motor con espiras de sombra y motor universal).

El motor con condensador permanente y el motor trifásico son motores nuevos que se agregaron al banco y que no habían sido utilizados anteriormente. Por lo tanto, a estos motores se les realizaron los ensayos preliminares que se hacen a las máquinas antes de ser energizadas por primera vez. Estos ensayos son la prueba de resistencia de aislamiento a tierra, identificación de devanados y medición de la resistencia óhmica de los mismos. Para el motor trifásico se mide la resistencia óhmica entre fases.

El mantenimiento preventivo para los motores de fase partida y espiras de sombra fue el mismo que para las máquinas de corriente continua expuesto anteriormente (ver 4.2.1) con excepción de los pasos 4, 5, 6, 7, 8 y 19. Estos motores fueron sometidos a una prueba adicional denominada como prueba de jaula de ardilla, que consiste en verificar que los rotores no presenten barras abiertas. Esta prueba se realizó con un grauler (electroimán en forma de herradura) y limaduras de hierro. Al colocar el rotor encima del grauler, las limaduras de hierro (que se esparcen encima del rotor) deben alinearse con la totalidad de las barras de la jaula. En el caso de que no se alineen en todas las barras, indica que la jaula está abierta. El resultado de esta prueba fue satisfactorio para ambos motores.

El mantenimiento preventivo para el motor universal, fue el mismo que se expuso para las máquinas de corriente continua del banco de pruebas grupo motor-generador de corriente continua (ver 4.2.1).

4.3 DISEÑO DE NUEVOS CIRCUITOS DE CONTROL Y POTENCIA

Al iniciar el mantenimiento preventivo de los bancos de pruebas, se encontraron deficiencias de funcionamiento tanto en los circuitos de control y de potencia, como lo poco didáctico y pedagógico que resultaba para los estudiantes que asistan a los laboratorios de máquinas eléctricas. Por tal razón, y con el propósito de mejorar la calidad de los bancos, se decidió realizar un nuevo diseño para los circuitos de control y potencia de los bancos de pruebas.

4.3.1 Diseño de los circuitos de control y potencia del banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua. El banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua, se diseñó de tal manera que ofrezca al estudiante u operario la mayor ayuda pedagógica posible para entender y monitorear el banco de pruebas .

La siguiente es una lista de las modificaciones realizadas a los circuitos de control y potencia del banco de pruebas.

- Instalación de breakers, utilizados tanto como medio de conexión y desconexión del banco de pruebas, como para protección del motor de corriente continua.

- Instalación de un pulsador de emergencia que desconecta todos los elementos de control una vez que éste es pulsado. Este pulsador no existía en el banco de pruebas.
- Instalación adecuada de un voltímetro de tensión continua que indique la tensión DC disponible para el rotor del motor antes de arrancarlo. Anteriormente, este voltímetro indicaba la tensión al momento de arrancar el motor.
- Instalación de señales visuales que indican el estado de energización o desenergización de todos los elementos de maniobra del banco de pruebas.
- Instalación de un puente rectificador trifásico, que brinda alimentación de tensión continua autónoma al banco de pruebas.
- Instalación de una protección de disparo del motor de corriente continua por pérdida de campo. Esta protección no permite que el motor arranque sin estar conectado el campo del mismo y a su vez apaga el motor en caso de que por cualquier circunstancia el motor quede sin campo.
- Instalación de un interruptor en el panel de control, que anula la protección de campo en caso que se desee conectar el motor en serie o en cualquier conexión compound en derivación corta.

- Instalación de un tacogenerador acoplado al grupo motor-generator para medir la velocidad del conjunto.
- Instalación de un sistema protección para el tacómetro en caso de una inversión de giro.
- Instalación de un interruptor en el tacogenerador, que permita al tacómetro medir la velocidad en cualquier sentido de giro del grupo motor-generator.
- Disponibilidad de una salida de 220 V DC para conexión del generador con excitación independiente.

Además de los elementos mencionados, el banco de pruebas cuenta con

- Un arrancador automático a tensión reducida por resistencias.
- Voltímetros y amperímetros para monitorear ambas máquinas.
- Relés de sobrecarga tanto para el motor como el generador.
- Fusibles para protección contra cortocircuito tanto en el circuito de potencia como en el circuito de control.

- Reóstatos para excitación tanto del motor como del generador.

4.3.2 Diseño de los circuitos de control y potencia del banco de pruebas de los motores monofásicos. El diseño original de los circuitos de control y potencia del banco de motores monofásicos, presentaba como principales desventajas:

- El diseño del sistema de conexiones, no permitía al estudiante la identificación de los devanados de los motores, y las diferentes formas de conexión de los mismos.
- Este banco contaba con un panel frontal que tenía aproximadamente 53 puntos distintos para la conexión de los motores, que más tarde se convertiría en un problema puesto que muchas marquillas de cada punto se caían y sumándose a esto, no se contaba con un manual claro que permitiera cumplir los objetivos de las prácticas.
- El sistema de medición de velocidad era mecánico y estaba mal diseñado, ya que, no prestaba ningún tipo de seguridad y confiabilidad para los estudiantes.

El banco de pruebas de motores monofásicos, al igual que el banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua, se diseñó de tal manera que

ofrezca al estudiante u operario la mayor ayuda pedagógica posible para entender y monitorear el banco de pruebas.

La siguiente es una lista de las modificaciones realizadas a los circuitos de control y potencia del banco de pruebas.

- Instalación de breakers utilizados tanto como medio de conexión y desconexión del banco de pruebas.
- Instalación de fusibles de protección contra corto circuito, tanto para el circuito de potencia como del circuito de control. Estos fusibles son independientes para cada motor. Anteriormente se contaba solamente con dos fusibles para protección de todo el banco, lo cual implicaba un mal dimensionamiento para las necesidades de cada motor.
- Instalación de un selector que permite la elección del tipo de corriente con que se desea trabajar el motor universal.
- Instalación de bornes de salida de tensión independientes para cada motor en el panel de control.

- Instalación de borneras para cada uno de los motores. Esto permitirá que el estudiante identifique los devanados de cada motor y pueda realizar las respectivas conexiones para arranque e inversión de giro.
- Instalación de condensadores en el banco de pruebas con sus terminales de conexión disponibles en el panel de control.
- Instalación de señales visuales que indican el estado de energización o desenergización de todos los elementos de maniobra del banco de pruebas.
- Instalación de señales visuales que indican el estado de encendido o apagado de cada motor independientemente.
- Instalación adecuada de medidores de acuerdo a las necesidades del banco.
- Instalación de un sistema de medición de velocidad para cada motor independientemente, utilizando un dispositivo electrónico de alta confiabilidad

4.4 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE ELEMENTOS DE MANIOBRA Y DE MEDICIÓN DE LOS BANCOS DE PRUEBA.

En ambos bancos de prueba, los elementos de maniobra estaban totalmente desprotegidos contra la excesiva suciedad del laboratorio, por esta razón y por no tener un plan de mantenimiento adecuado, estos elementos se saturaron de

polvo, óxido y de residuos de insectos voladores que no les permitían realizar su función.

4.4.1 Mantenimiento preventivo de elementos de maniobra y de medición del banco de pruebas del grupo motor generador DC. En el caso de los elementos de maniobra pertenecientes al banco de pruebas del grupo motor – generador de corriente continua, se encontraron en un estado tal, que de ninguna manera podrían brindar un funcionamiento óptimo y seguro tanto para los equipos y elementos del banco como para las personas que lo utilizaran. Además algunos de ellos estaban incompletos .

En la figura 1, se muestra el estado en que se encontraron los elementos de maniobra.

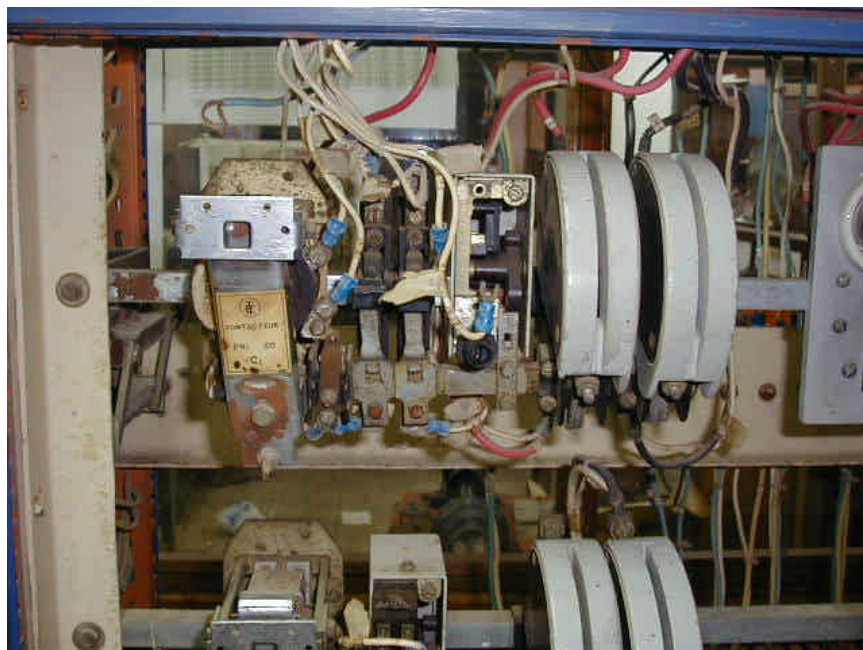


Figura 1. Estado en que se encontraron lo elementos de maniobra.

Los contactores, temporizadores y relés de sobrecarga fueron reemplazados en su totalidad.

Para el resto de elementos de maniobra se realizaron las siguientes actividades:

- Inspección y mantenimiento a los pulsadores de arranque y parada del motor y generador.
- Inspección y mantenimiento del pulsador de parada de emergencia.
- Inspección y mantenimiento de los reóstatos de excitación del grupo - motor generador.
- Reemplazo de la totalidad de bornes de conexión en el tablero de control y en las borneras del motor y generador.
- Inspección y mantenimiento general de instrumentos de medición del banco, es decir, voltímetros, amperímetros y tacómetro.

4.4.2 Mantenimiento preventivo de elementos de maniobra y de medición del banco de pruebas de motores monofásicos. Este banco de pruebas se encontró en un estado crítico, ya que sus elementos de control no funcionaban, pero a diferencia del banco de pruebas grupo motor generador de corriente

continua, algunos contactores fueron utilizados después de realizarse el respectivo mantenimiento.

El mantenimiento realizado fue el siguiente

- Desarme, inspección y mantenimiento de contactores. Este mantenimiento consistió en la limpieza de bobina, núcleo y contactos con producto químico especial y además se realizó una revisión y limpieza de sus partes mecánicas.
- Inspección y mantenimiento del selector.
- Inspección y mantenimiento de instrumentos de medición del banco, es decir, voltímetros, amperímetros y tacómetro.
- Instalación de pulsadores nuevos para arrancar o parar cada motor independientemente.

4.5 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y REESTRUCTURACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS MECÁNICAS DE LOS BANCOS DE PRUEBAS.

Como se mencionó anteriormente, a consecuencia de la configuración de las estructuras mecánicas de los bancos de pruebas, los elementos de maniobras de ambos bancos se encontraron en extremo avance de deterioro y en algunos casos

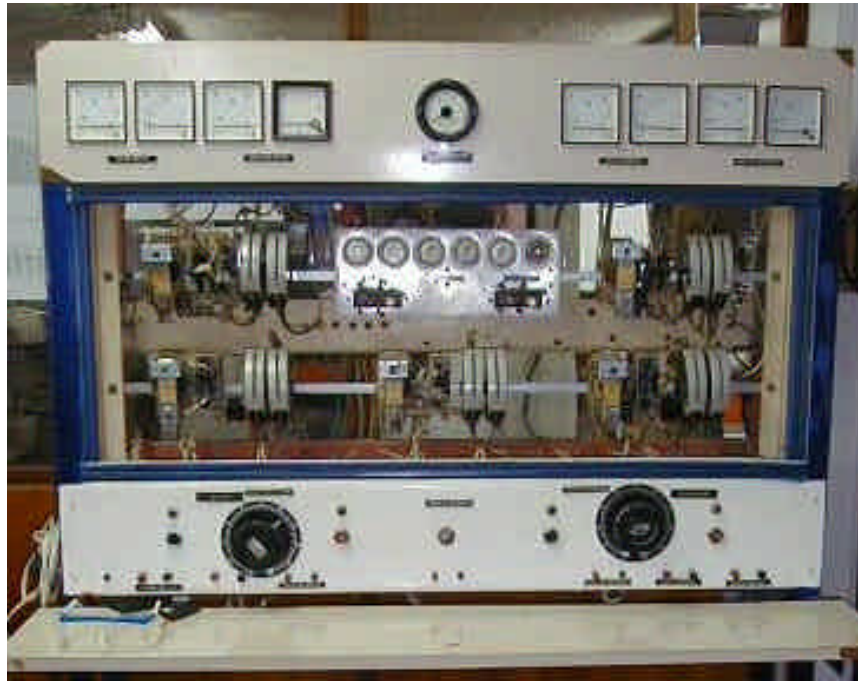
completamente inservibles e irreparables. Por tal motivo se realizó una reestructuración de la estructura mecánica de ambos bancos.

Los planos eléctricos de los circuitos de control y potencia, se encontraban muy deteriorados, situados en la superficie diseñada para trabajo del estudiante y además en el caso del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua, estaban hechos con nomenclatura europea, la cual no es muy conocida y estudiada en nuestra comunidad estudiantil.

La estructura del banco de pruebas de motores monofásicos y su color, no guardaba uniformidad con respecto a los otros bancos de prueba del laboratorio de máquinas y accionamientos eléctricos.

En las figuras 2 y 3 se observan los bancos de pruebas del grupo motor – generador de corriente continua y el banco de pruebas de motores monofásicos respectivamente antes del mantenimiento. Se observa como los bancos no tenían una buena presentación y el estado de los paneles de control y de medición se encontraba muy deteriorado.

Por lo anterior se diseñó una estructura mecánica mejorada para los bancos con el propósito de mejorar la presentación de los mismos y de proteger los elementos de maniobra.



**Figura 2. Estado en que se encontró el banco de pruebas del grupo motor-
generador de corriente continua**



**Figura 3. Estado en que se encontró el banco de pruebas de motores
monofásicos**

El mantenimiento y la reestructuración de estos bancos consistieron en:

- Eliminación de óxido en ambas estructuras mecánicas de los bancos de pruebas.
- Aplicación de pintura anticorrosiva y pintura base en ambas estructuras mecánicas de los bancos de pruebas.
- Aplicación de pintura tipo laca (azul entonador) en ambas estructuras mecánicas de los bancos de pruebas
- Instalación de una cubierta de fórmica blanca mate para el panel de instrumentos, lámina base de los elementos de control y superficie de trabajo en ambos bancos de pruebas.
- Elaboración de un plano eléctrico completo en material resistente del circuito de control y potencia en nomenclatura americana que además cuenta con señales visuales (indicadores de 120 V AC) que indican el estado de encendido o apagado de todos los elementos de maniobra que componen el circuito de control. Este plano se encuentra en la parte frontal derecha de los bancos de pruebas para fácil seguimiento de las conexiones.

- Colocación de marquillas de identificación en el cableado de los circuitos de control y de potencia en todos sus elementos.
- Elaboración de un marco en formica blanca mate y colocación de una cubierta de acrílico transparente para aislar los elementos de maniobra y el plano eléctrico de la excesiva suciedad del ambiente y además evitar posibles alteraciones de los elementos componentes del circuito de control.

En las figuras 4 y 5 se muestran los montajes de los elementos de maniobra de los bancos de pruebas grupo motor-generator de corriente continua y motores monofásicos respectivamente. Todos los componentes están detallados en los inventarios de partes (anexos E y F) respectivos de cada banco.

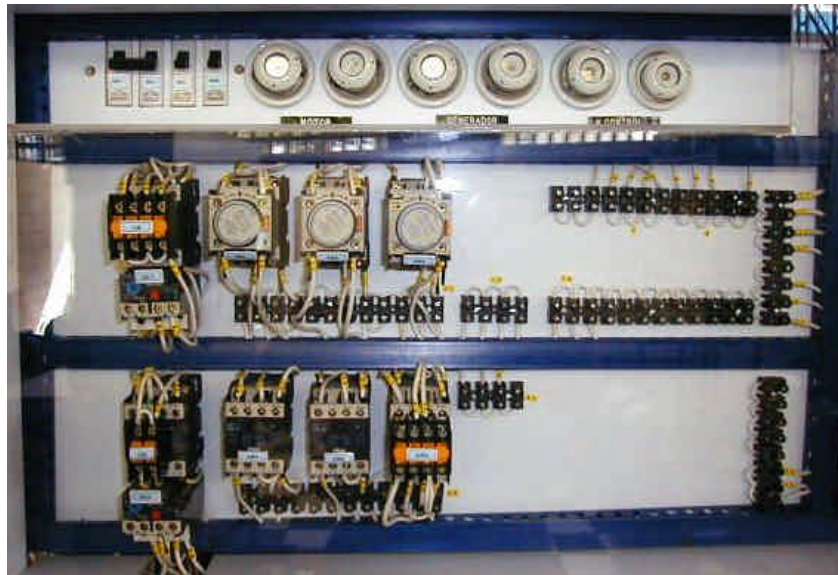


Figura 4. Montaje de los elementos de maniobra del banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua

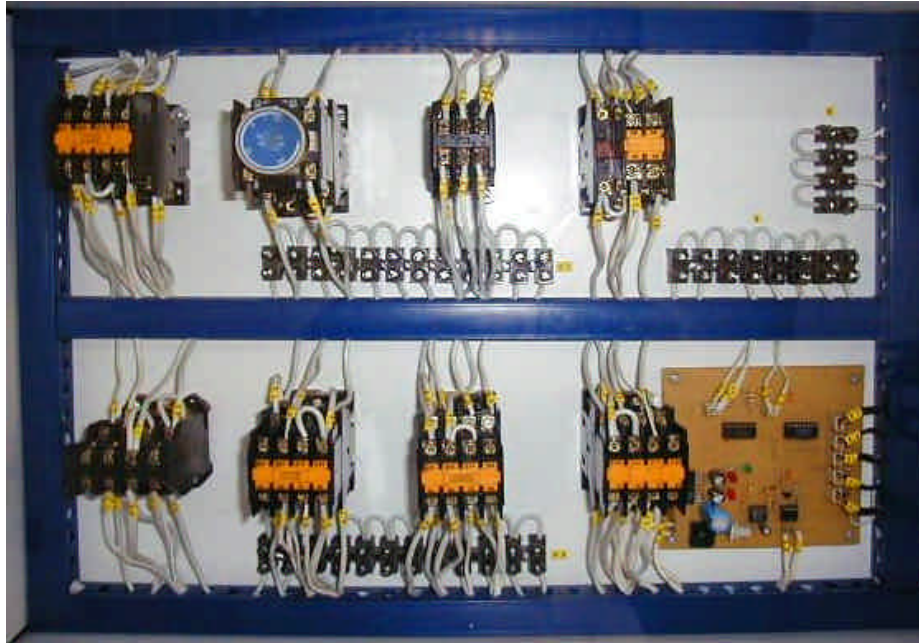


Figura 5. Montaje de los elementos de maniobra del banco de pruebas de motores monofásicos.

En las figuras 6 y 7, se observan los paneles de control de ambos bancos de pruebas. Todos los componentes están detallados en los inventarios de partes (anexos E y F) respectivos de cada banco.



Figura 6. Panel de control y bornes de conexión del banco de pruebas del grupo motor-generator de corriente continua.

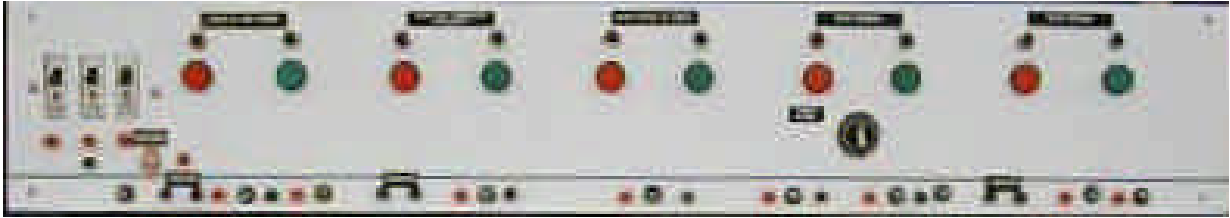


Figura 7. Panel de control y bornes de conexión del banco de pruebas de motores monofásicos.

En las figuras 8 y 9 se muestran los paneles de instrumentos de medición de ambos bancos de pruebas. Cada uno de los elementos de medición de cada uno de los bancos se detallan en los inventarios de partes (anexos E y F) respectivos de cada banco.



Figura 8. Panel de instrumentos de medición del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.

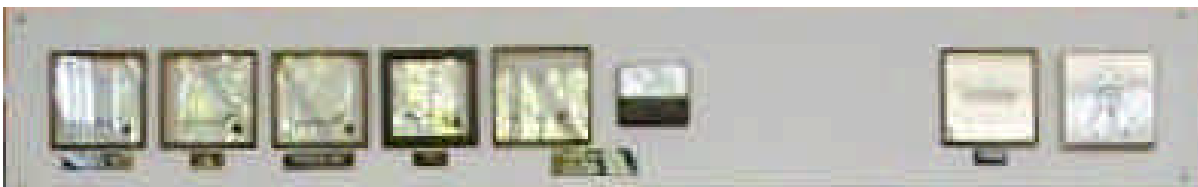


Figura 9. Panel de instrumentos de medición del banco de pruebas de motores monofásicos.

En las figuras 10 y 11, se muestran las máquinas de ambos bancos de pruebas. Estas máquinas se detallan en los inventarios de partes (anexos E y F) respectivos de cada banco.



Figura 10. Grupo motor- generador- tacogenerador de corriente continua



Figura 11. Grupo de motores monofásicos

En las figuras 12 y 13 se muestra el resultado final del mantenimiento realizado a los bancos de pruebas.

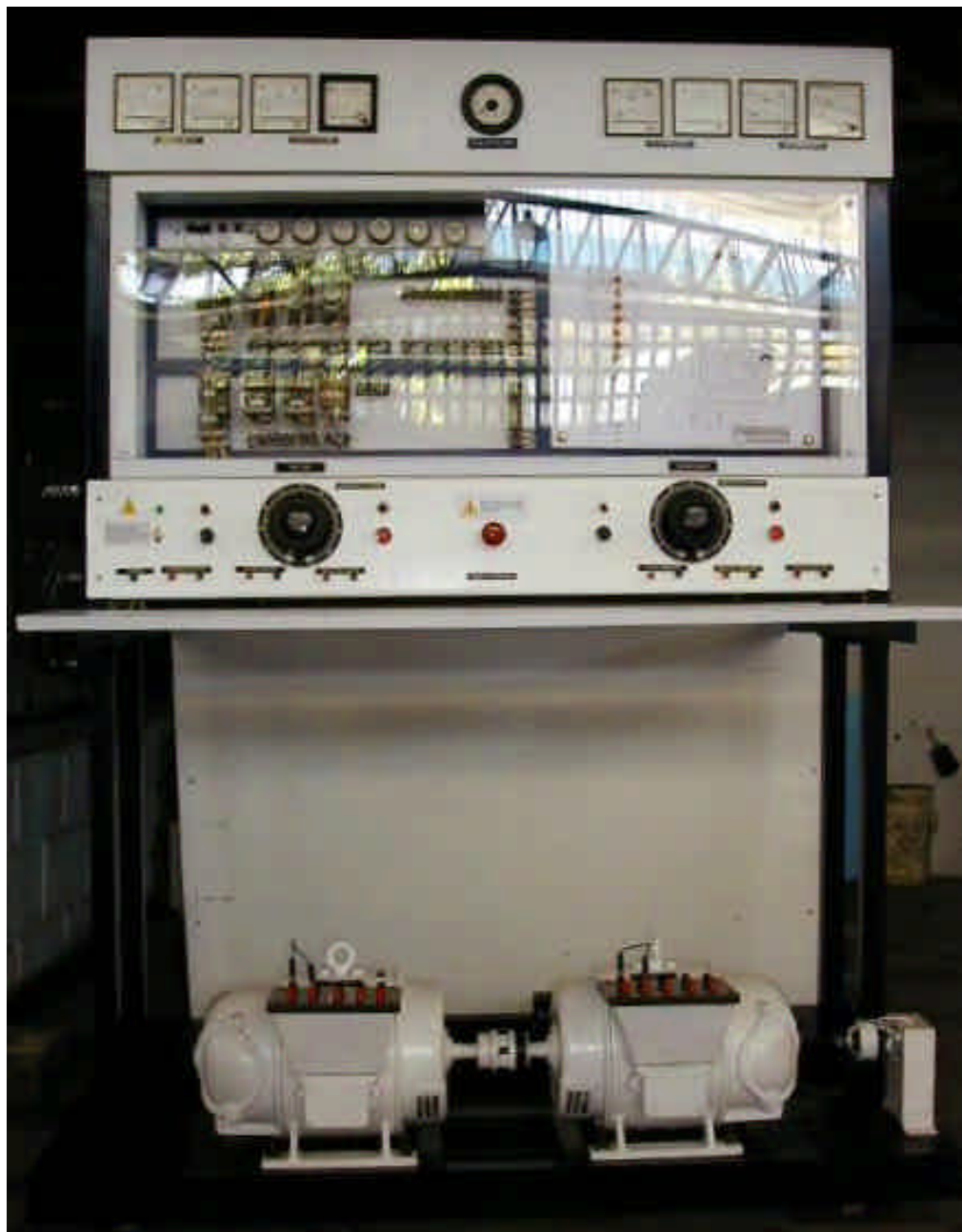


Figura 12. Banco de pruebas del grupo motor generador de corriente continua después del mantenimiento



Figura 13. Banco de pruebas del grupo de motores monofásicos después del mantenimiento

5. PRÁCTICAS DE LABORATORIO

5.1 PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE MOTORES MONOFÁSICOS

5.1.1 Conocimiento del funcionamiento del banco de pruebas del grupo motores monofásicos

Objetivos

- Identificar todos los elementos que componen el banco de pruebas del grupo motores monofásicos.
- Accionar todos los elementos de control del banco
- Interpretar los diagramas eléctricos del circuito de control y de potencia del banco de pruebas grupo de motores monofásicos.
- Identificar las características de cada motor.
- Identificar los devanados de cada motor monofásico.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizado en las instalaciones del laboratorio de maquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Una (1) hora

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motores monofásicos
- Multímetro digital.
- Megger
- Borneras
- Pinza amperimétrica.

Fundamentación teórica

El estudiante antes de realizar esta práctica debe documentarse acerca de los siguientes temas:

¿Qué son y cuáles son los elementos de mando de un circuito de control?

¿Qué es y cómo funciona un contactor?

¿Qué es y qué función desempeñan los temporizadores?

¿Qué es un circuito de control y circuito de potencia ?

¿Qué es un breaker y qué es un fusible?

Fuentes de consulta

- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Enciclopedia CEAC de la electricidad. Maniobra mando y control.
- Anexo A. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Realizar una inspección visual de todos los elementos de control que contiene el banco, y si no se conoce alguno, recurrir al profesor para que le explique su funcionamiento.

En la figura 14, se muestra la simbología eléctrica utilizada para los circuitos eléctricos de control y de potencia del banco de pruebas

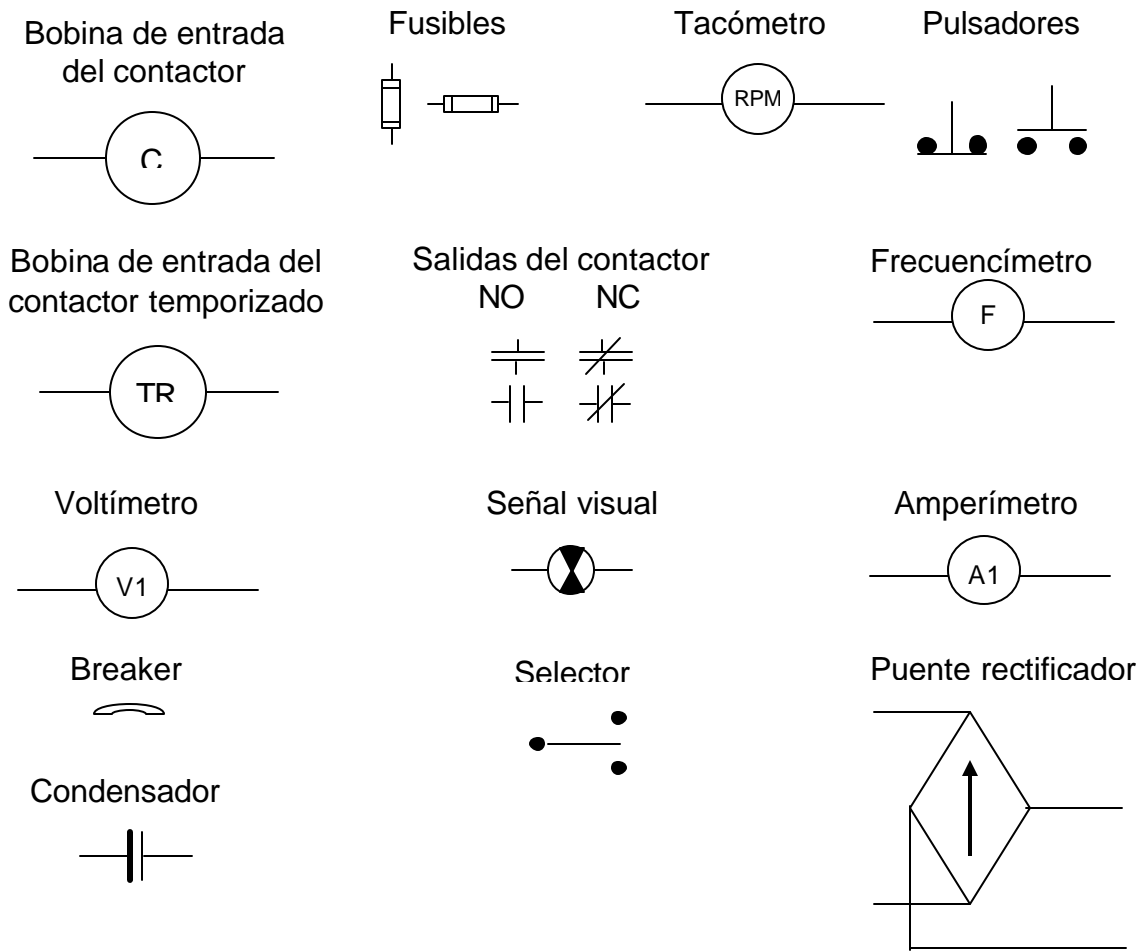


Figura 14. Simbología eléctrica empleada en el circuito eléctrico de control y potencia en del banco de pruebas monofásicos

En la figura 15, se observa el circuito de control y de potencia del banco de pruebas de motores monofásicos

- Conecte la alimentación trifásica a la red de 220 v AC 60 Hz. Debe asegurarse antes de energizar el banco que el neutro este conectado.
- Observar y comprender el diagrama de control y de potencia del banco.
- Lleve a la posición ON los breakers.
- Sin realizar ningún tipo de conexión, ponga a funcionar el circuito de control de cada uno de los motores
- Verifique los voltajes de salida en cada uno de los bornes de conexión.
- Desenergice el banco llevando a la posición OFF cada uno de los breakers.
- Identifique cada una de los devanados de los motores del banco de pruebas de motores monofásicos
- Obtener el valor de resistencia óhmica de cada uno de los devanados de los motores.
- Medir el valor de resistencia de aislamiento a tierra de cada uno de los motores. (Debe ser mayor de 1Mega ohmio).

Cuestionario

1. Describir con sus propias palabras el funcionamiento del circuito de control del banco.
2. Identifique y explique su función en el banco de pruebas de los siguientes elementos: Contactor, bloque auxiliar, contactor temporizado, breakers y fusibles.

3. Explique brevemente el funcionamiento del dispositivo de medición de velocidad.
4. En el motor de fase partida, ¿cual devanado tiene mayor resistencia?. El de marcha o el de arranque. ¿Por qué?
5. ¿En que se diferencia el arranque del motor de fase partida con arranque por resistencia del de arranque por condensador?
6. ¿Por qué deben medirse el valor de resistencia óhmica de los devanados de un motor.
7. ¿Por qué es importante el valor de la resistencia de aislamiento a tierra?
8. ¿Cuál es el riesgo para personas y equipo de poner en funcionamiento una máquina con bajo valor de resistencia de aislamiento a tierra?.

5.1.2 Comportamiento del motor monofásico de fase partida.

Objetivos.

- Verificar la corriente de arranque del motor de fase partida sin condensador de arranque.
- Verificar la corriente de arranque del motor de fase partida con condensador de arranque.
- Invertir el sentido del giro a los motores de fase partida.
- Observar el comportamiento del motor de fase partida con condensador permanente, en el momento de arranque y después del arranque.
- Hallar mediante las pruebas de vacío y rotor bloqueado el circuito equivalente del motor monofásico de condensador permanente.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas.

Equipo necesario.

- Motor de fase partida.
- Motor de fase partida con condensador permanente.
- Borneras
- Pinza amperimétrica
- Voltímetro
- Vatímetro.
- Cables para la conexión.

Fundamentación teórica

El estudiante antes de realizar esta practica debe documentarse acerca de los siguientes temas:

¿Como funciona un motor monofásico?

¿Como funciona un motor monofásico de fase partida?

¿En cuantos grupos se dividen los motores monofásicos de fase partida?

¿Cómo se le invierte el giro a un motor monofásico de fase partida?

¿Cómo se le regula la velocidad al motor de fase partida?

Investigar las expresiones que permiten hallar el circuito equivalente de un motor monofásico.

Fuentes de consulta

- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo A. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Observación

El banco de pruebas de motores monofásicos posee dos motores de fase partida. Uno de ellos con condensador permanente y el otro con arranque por condensador o resistencia. El motor con condensador permanente trabaja para una sola tensión (110 V AC) y el de arranque por condensador o resistencia trabaja con dos tensiones (110 y 220 V AC). En éste su devanado de arranque se desconecta por medio de un contactor temporizado de tipo *on delay*. Por lo anterior, el motor de fase partida con arranque por condensador o resistencia presenta dos devanados de marcha (igual resistencia óhmica), que se conectarán en serie o paralelo de acuerdo al valor de la tensión de servicio. El devanado de arranque siempre se debe conectar a 110 V AC. Para seleccionar el modo de

arranque del motor de fase partida, es decir por condensador o por resistencia, lleve el interruptor SW1 al modo deseado.

Procedimiento

- Identificar cada uno de los devanados de los motores de fase partida.
- Comprobar que el aislamiento a tierra sea mayor de un mega ohmio.
- Conectar el banco de pruebas del grupo motores monofásicos y verificar que el neutro esté conectado. No realice conexiones con el banco energizado.
- Conectar el motor de fase partida de arranque por condensador o resistencia de manera que arranque sin condensador. Realice la conexión para ambas tensiones de trabajo (110 V y 220 V), según el diagrama de conexiones de esta guía, (figuras 16 y 18) y tome los datos de corriente de arranque y corriente de trabajo y velocidad del motor en ambas tensiones. Observe que en ambos casos el devanado de arranque se conecta a 110 V.
- Conectar el motor de fase partida de arranque por condensador o resistencia de manera que arranque con condensador. Realice la conexión para ambas tensiones de trabajo (110 V y 220 V), según el diagrama de conexiones de esta guía, (figuras 16 y 18) y tome los datos de corriente de arranque y corriente de trabajo y velocidad del motor en ambas tensiones. Observe que en ambos casos el devanado de arranque se conecta a 110 V).
- De acuerdo con el diagrama de conexiones de esta guía (figuras 17 y 19), realice la conexión para que el motor de fase partida cambie el sentido de giro

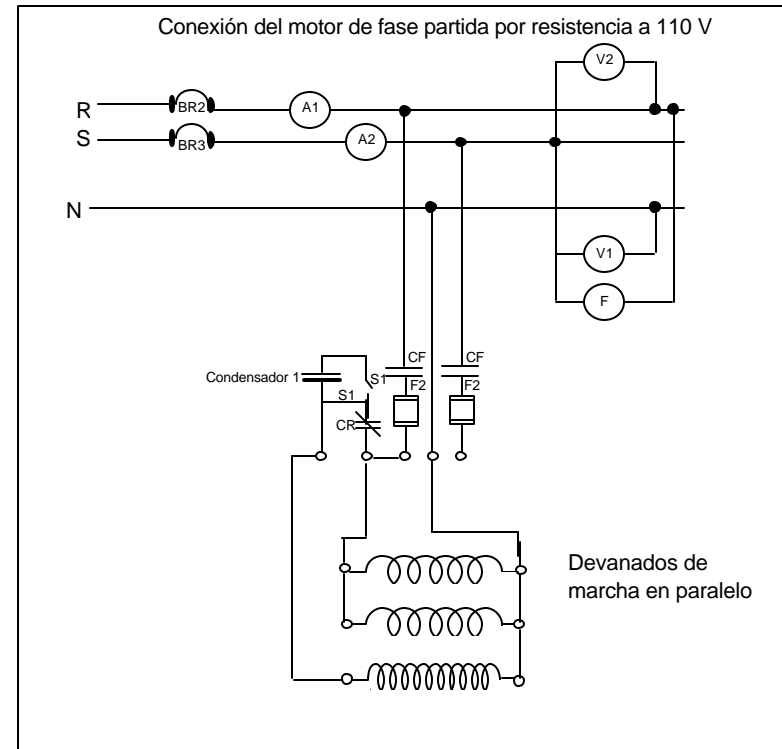
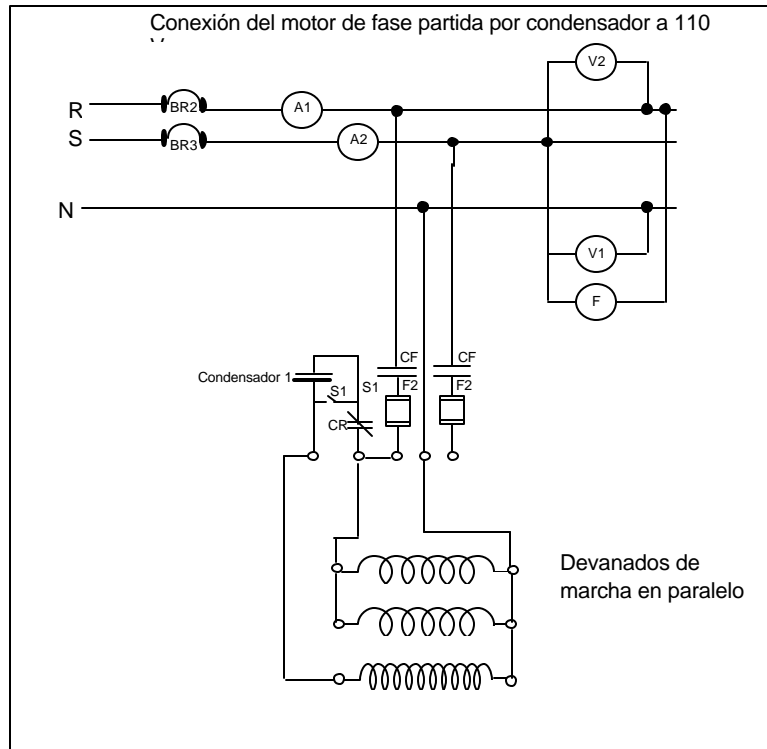
arrancándolo primero con resistencia y luego con condensador. Realice la conexión para las dos tensiones de trabajo (110 V y 220 V). Tome valores de corriente de arranque, trabajo y velocidad del motor.

- Según el diagrama de conexiones de esta guía (figura 20), conectar el motor de fase partida con condensador permanente (110 V).
- Poner en marcha el motor durante un minuto y tomar nota de los siguientes parámetros del motor en vacío: tensión de servicio, amperaje en vacío, potencia en vacío y velocidad.
- De orden de parada al motor y mida la resistencia del devanado de marcha.
- Realizar la prueba de rotor bloqueado al motor y rápidamente tomar los datos de tensión de servicio, corriente de consumo y potencia de consumo. Para realizar esta prueba utilice una pinza o un hombrosolo y sujete firmemente el eje del motor (con condensador permanente) por su parte posterior.
- Apagar el motor y verificar la resistencia del devanado de marcha.
- Desenergice el banco llevando a la posición OFF los breakers.

Cuestionario

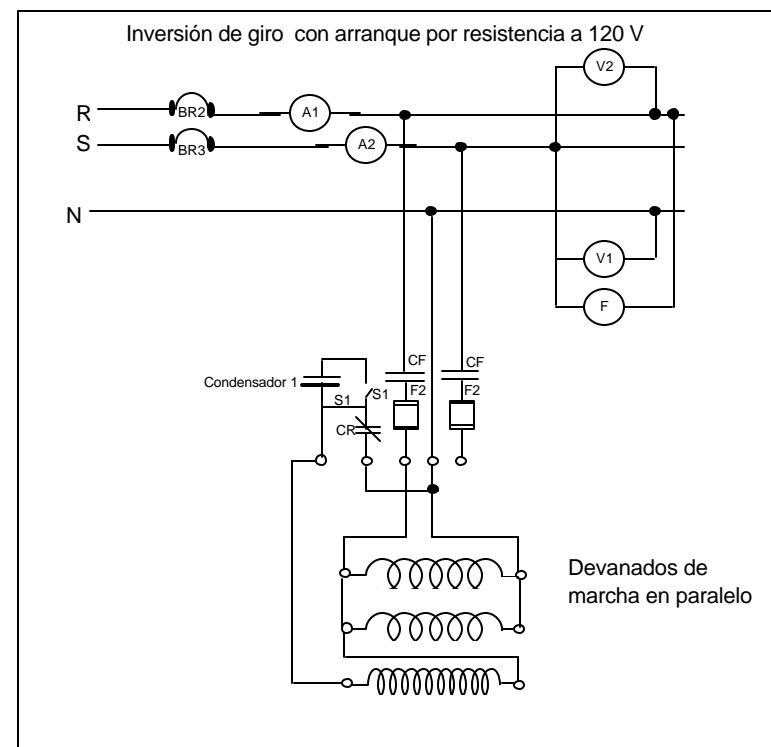
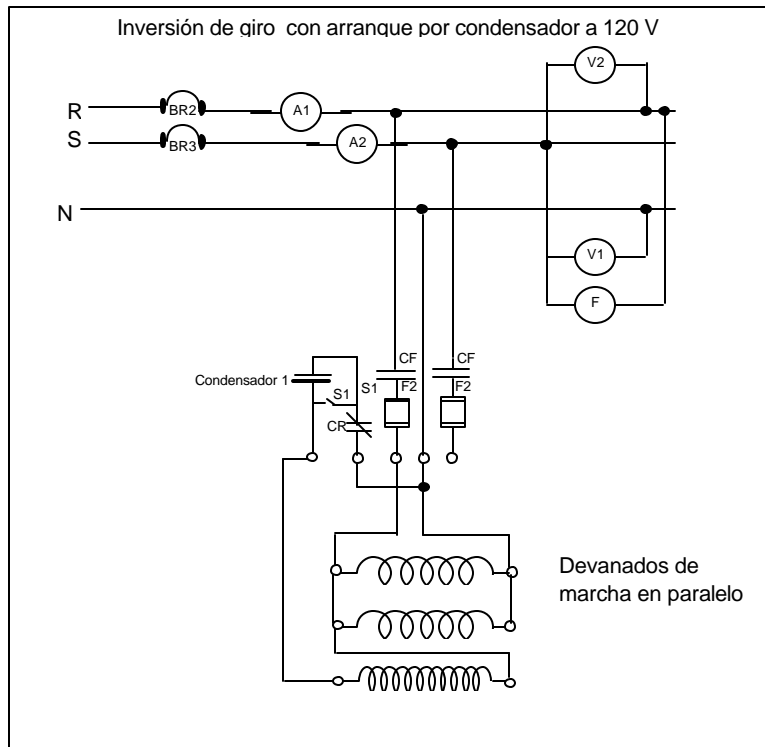
1. Realizar un cuadro comparativo entre las corrientes del motor de fase partida conectado con arranque por resistencia y con condensador. Explique lo obtenido.
2. ¿Por qué un motor de fase partida es incapaz de arrancar por si mismo sin devanados auxiliares especiales?

3. ¿Cómo el devanado auxiliar suministra el momento de arranque al motor de fase partida?
4. ¿Cómo se determina el sentido de rotación de estos motores?
5. ¿Que pasaría si al motor de fase partida con condensador permanente, después de haber arrancado se le desconecta el condensador?
6. Con los datos obtenidos en la prueba de rotor bloqueado, hallar el circuito equivalente del motor de fase partida con condensador permanente. Asuma que las pérdidas por fricción y ventilación son igual a 16W y K_2 es 1.05.
7. ¿Cómo justifica el cambio de resistencia con rotor frenado y el motor en vacío?



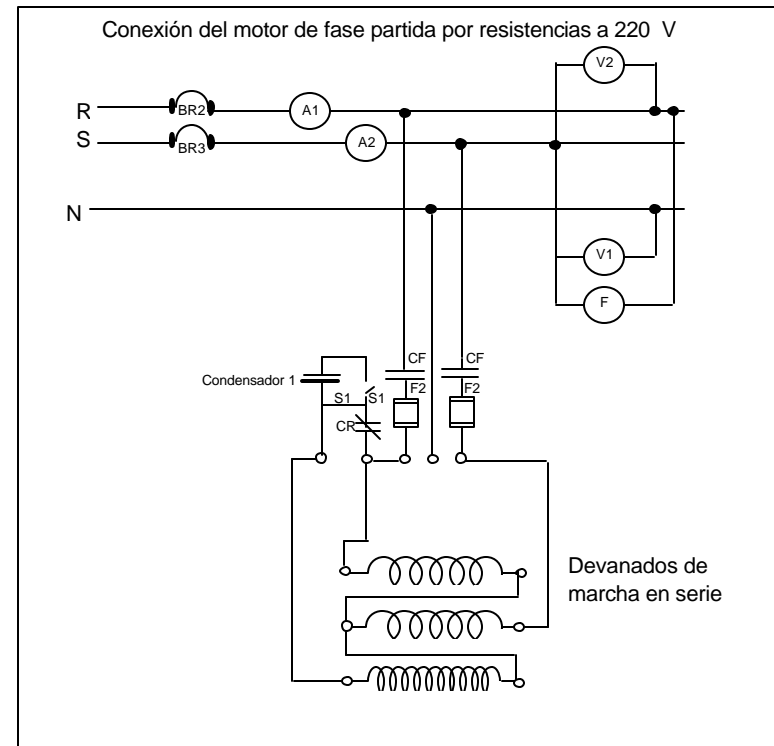
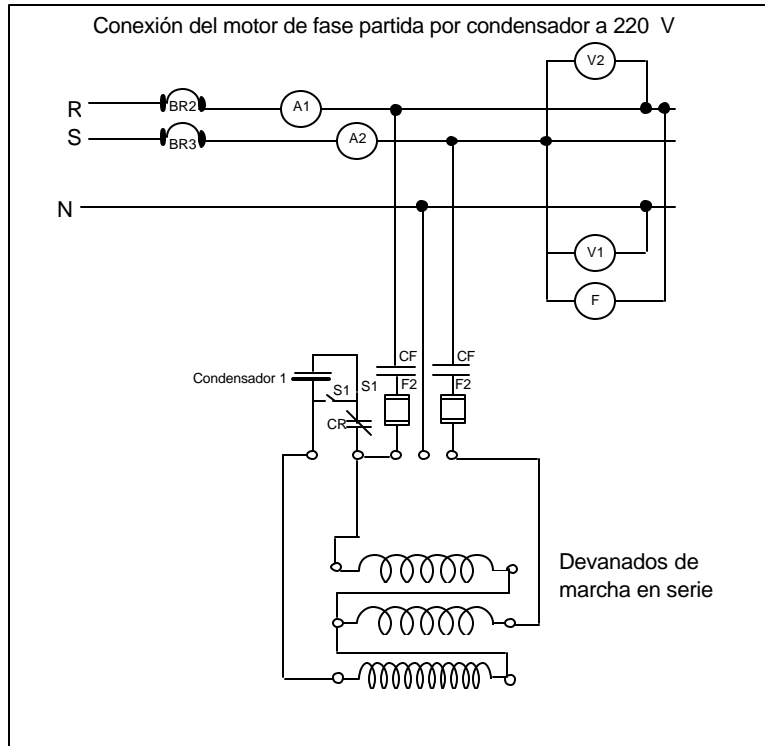
- Para la conexión de 110 V se utiliza solamente una de las fases y el neutro. Los devanados de marcha deben conectarse en paralelo como se muestra en el diagrama de conexiones.
- La selección de arranque por resistencia o por condensador se efectúa cambiando la posición del interruptor que se encuentra en el panel de control.

Figura 16. Diagrama de conexiones para el arranque del motor de fase partida a 110 V con condensador y resistencia



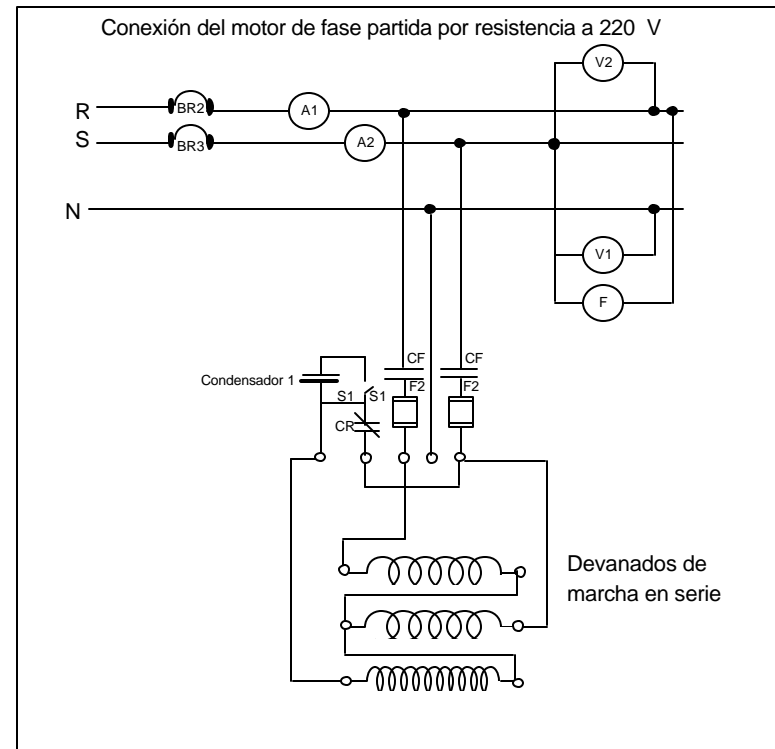
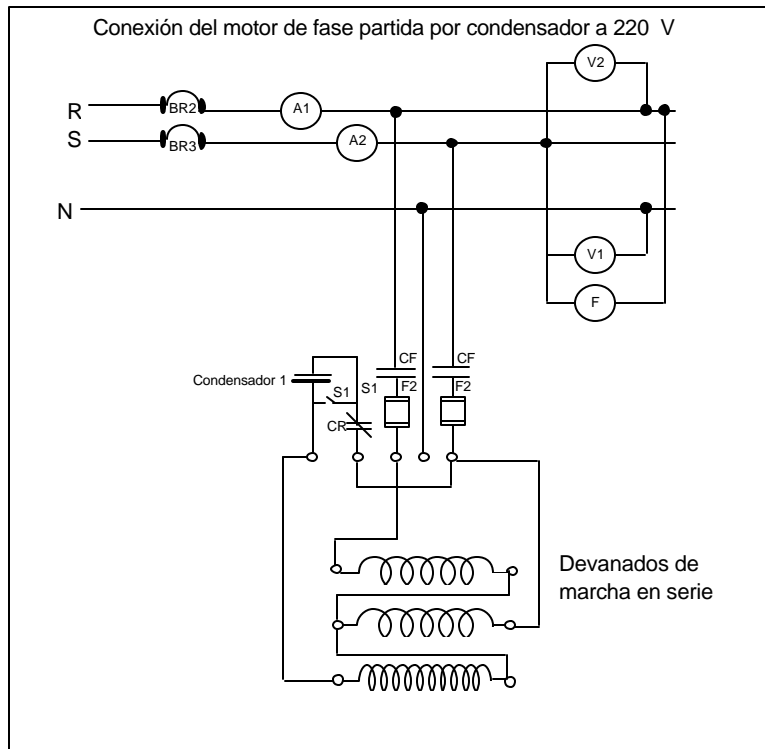
- Para la inversión de giro del motor de fase partida, con arranque por resistencia o por condensador, solo se debe cambiar la polaridad del devanado de arranque.

Figura 17. Diagrama de conexiones para inversión del sentido de giro del motor de fase partida conectado a 110 V con arranque por condensador y resistencia.



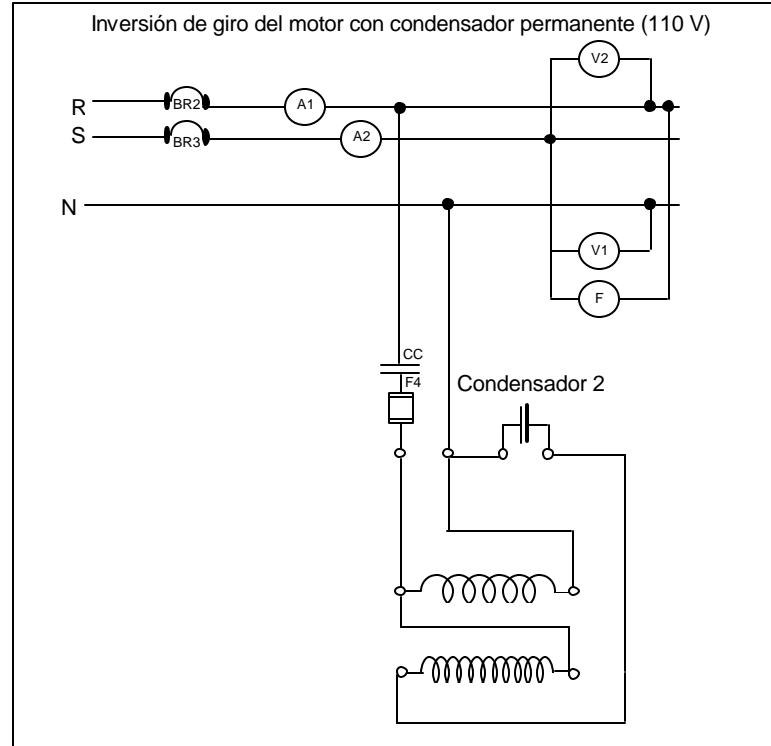
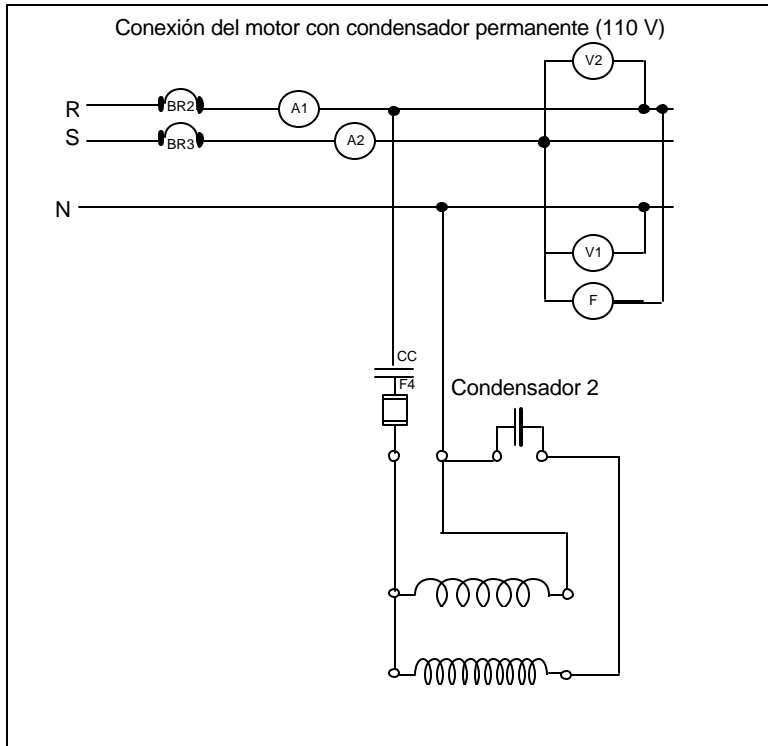
- Para la conexión de 220 V se utilizan solamente las fases R y S. Los devanados de marcha deben conectarse en serie como se muestra en el diagrama de conexiones.
- El devanado de arranque se conecta entre una fase y el punto donde se conectan en serie los devanados de marcha.
- La selección de arranque por resistencia o por condensador se efectúa cambiando la posición del interruptor que se encuentra en el panel de control.

Figura 18. Diagrama de conexiones para arranque del motor de fase partida a 220 V con condensador y resistencia



- Para invertir el sentido de giro del motor monofásico de fase partida conectado a 220 V, solamente se debe cambiar de fase el borne del devanado de arranque que no está conectado al punto donde se conectan en serie los devanados de marcha

Figura 19. Diagrama de conexiones para inversión del sentido de giro del motor de fase partida conectado a 220 V con arranque por condensador y resistencia.



- Para invertir el sentido de giro del motor con condensador permanente, solo se debe invertir la polaridad del devanado de arranque.

Figura 20. Diagrama de conexiones para arranque e inversión del sentido de giro del motor con condensador permanente

5.1.3 Comportamiento del motor universal en el momento de arranque, inversión de giro, y regulación de la velocidad.

Objetivos

- Comprender el principio del funcionamiento del motor universal.
- Observar las diferencias del motor universal trabajando con corriente alterna y continua.
- Analizar las características del par y la velocidad del motor universal.
- Aprender a cambiarle el sentido del giro a un motor universal.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas.

Equipo utilizado

- Motor universal.

- Banco de prueba del grupo motores monofásicos.
- Pinza amperimétrica.
- Multímetro.
- Megger.
- Bornera.
- Resistencia variable de 0 a 33 Ω .
- Cables para conexión.

Fundamentación teórica

El estudiante antes de realizar esta practica debe investigar sobre los siguientes temas:

¿Cómo funciona un motor universal?

¿Cómo se le invierte el giro?

¿Cómo se le regula la velocidad al motor universal?

¿Cómo es la característica par-velocidad de estos motores?

Fuentes de consulta

- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.

- Anexo A. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

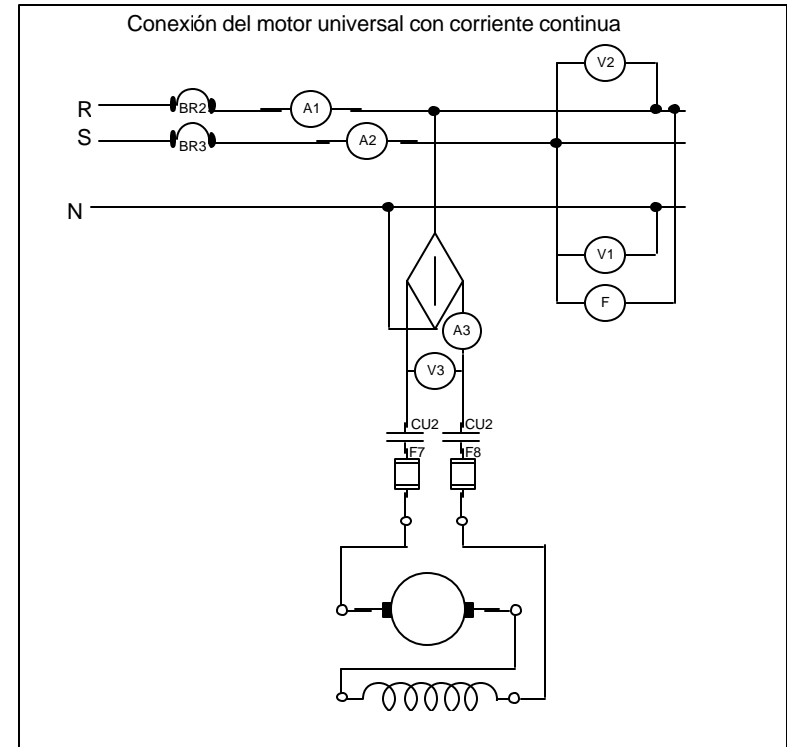
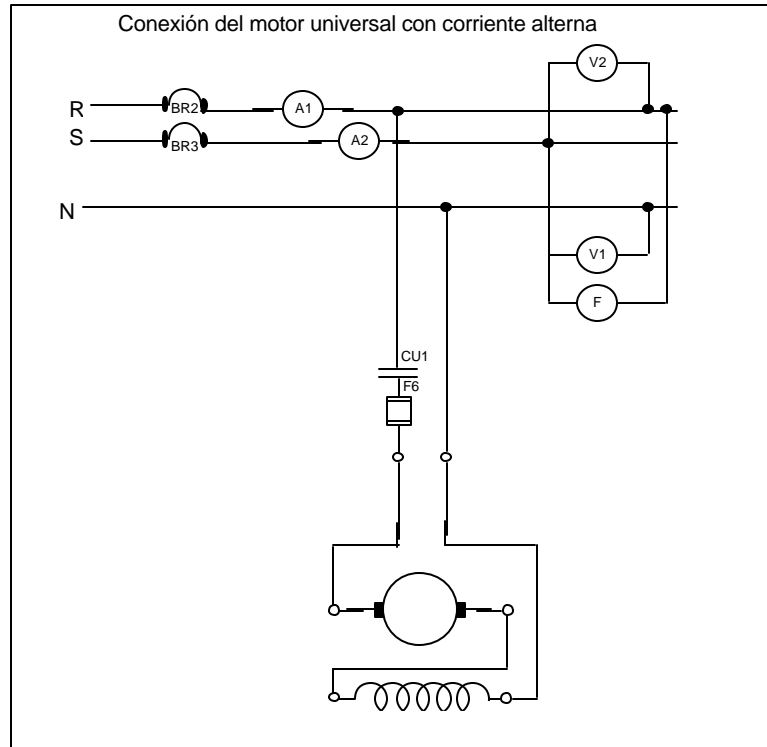
Procedimiento

- Conectar el banco de pruebas del grupo motores monofásicos y verificar que el neutro este conectado. No realice conexiones con el banco energizado.
- Seleccione el tipo de corriente con que desea que trabaje el motor.
- Antes de conectar el motor, verifique que exista tensión en los terminales del tipo de corriente que usted seleccionó. Esto lo hace, presionando el pulsador de arranque del motor. Una vez haya verificado tensión en los terminales, presione el pulsador de parada.
- Identificar los devanados del motor universal.
- Hacer las conexiones necesarias para poner a funcionar el motor universal de acuerdo al tipo de corriente que seleccione. Ver diagrama de conexiones de esta guía. (figura 21).
- Tomar datos de funcionamiento, tanto en corriente continua como en alterna.
- Desenergizar el banco de pruebas.
- Invertir el sentido de giro al motor, de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía. (figura 22).
- Desenergizar el banco de pruebas.

- Conecte la resistencia variable al circuito de campo del motor universal para variar la velocidad del motor como se muestra en el diagrama de conexiones. (figura 23).
- Repita el procedimiento anterior para ambos tipos de corriente y tome datos de funcionamiento en diferentes valores de resistencia.

Cuestionario

1. Que diferencia existe entre los parámetros de funcionamiento del motor universal trabajando con corriente continua y con corriente alterna.
2. ¿Qué cambios se necesitan en un motor serie de cc para adaptarse al funcionamiento con una fuente de potencia de ca?
3. ¿Por qué un motor de cc en shunt, no podría trabajar con una fuente de potencia de ca?
4. En un motor universal, ¿Qué diferencia existe en la conmutación cuando se trabaja con corriente continua y con corriente alterna? Explique.
5. ¿Que le pasaría al motor universal si en plena marcha, se le desconecta un borne del circuito del colector?. ¿Por que?.
6. Mencione tres aplicaciones del motor universal.



- Para seleccionar el tipo de corriente con que desea trabajar, mueva el selector hacia el lado correspondiente.

Figura 21. Diagrama de conexiones para el arranque del motor universal con corriente alterna y corriente continua.

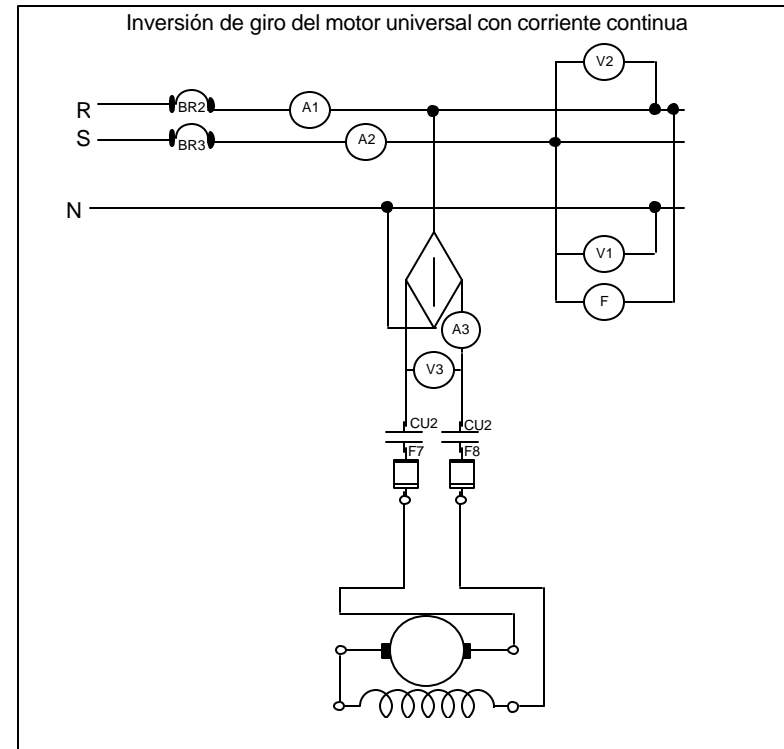
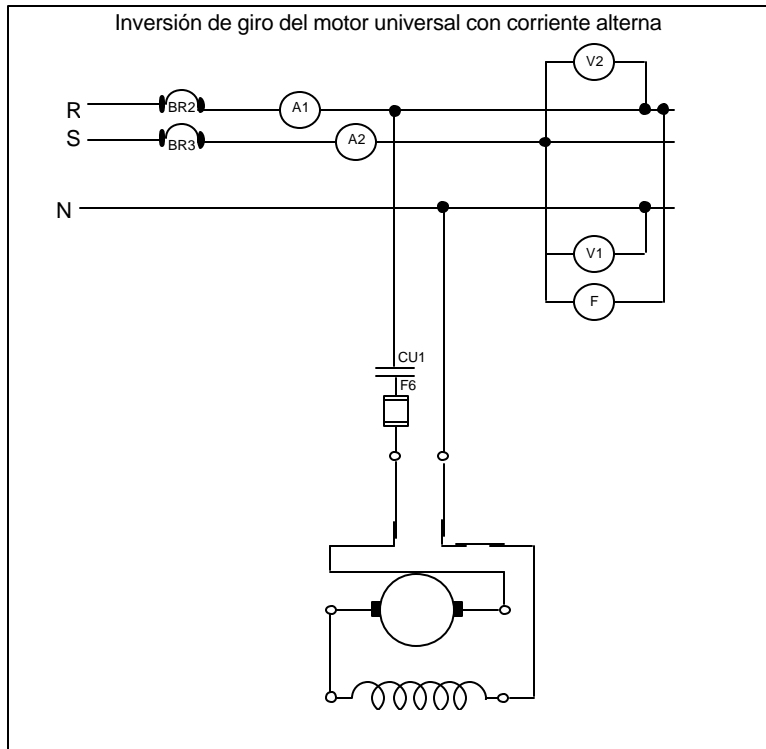


Figura 22. Diagrama de conexiones para inversión del sentido de giro del motor universal con corriente alterna y corriente continua.

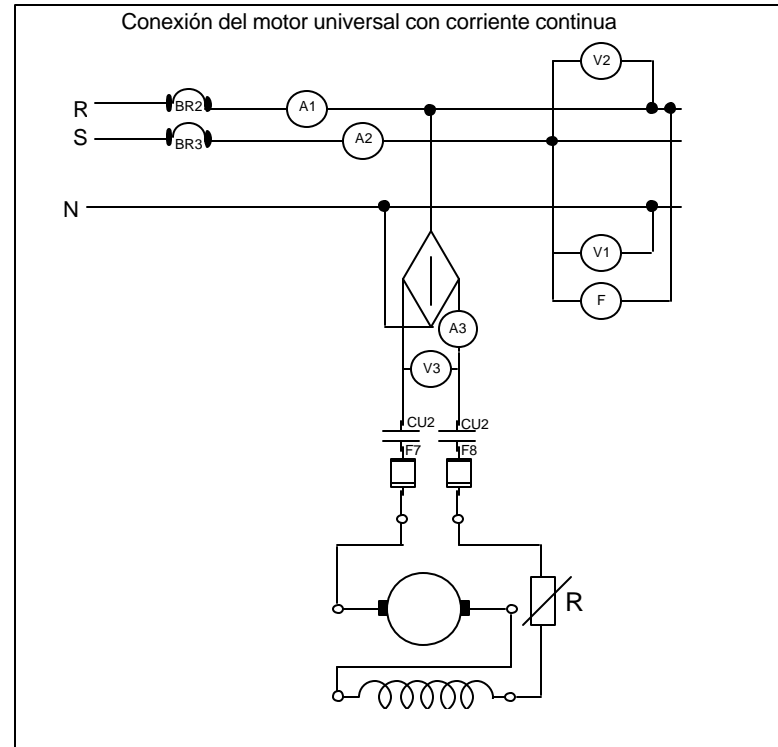
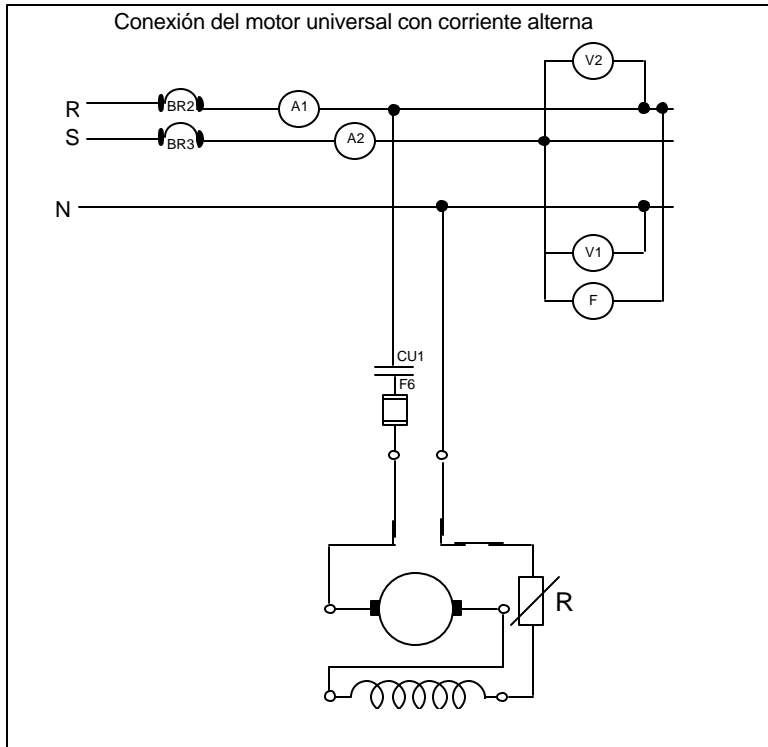


Figura 23. Diagrama de conexiones para variar la velocidad del motor universal

5.1.4 Comportamiento del motor trifásico trabajando como monofásico y el motor monofásico con espiras de sombra.

Objetivos

- Aprender como se conecta un motor trifásico como monofásico.
- Observar experimentalmente el comportamiento de los motores trifásico conectado como monofásico.
- Aprender a cambiarle en sentido de giro al motor trifásico trabajando como monofásico.
- Observar experimentalmente el comportamiento del motor monofásico con espiras de sombra.
- Aprender la diferencia que existe entre el motor con espiras de sobra, y los demás motores monofásicos.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas.

Equipo utilizado

- Motor trifásico
- Motor con espiras de sombra.
- Banco de pruebas del grupo motores monofásicos.
- Pinza amperimétrica.
- Cables para la conexión de los motores.
- Voltímetro.
- Fuente de voltaje trifásica.

Fundamentación teórica

El estudiante antes de realizar esta práctica debe documentarse de los siguientes temas:

¿Cómo se conecta un motor trifásico como monofásico?

¿Cuales son las conexiones Steinmetz?

¿Cómo se le invierte el giro a un motor trifásico trabajando como monofásico?

¿Cuál es el principio de funcionamiento del motor monofásico con espiras de sombra?

Fuentes de consulta

- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.

- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo A. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Identificar los devanados del motor trifásico.
- Comprobar que el aislamiento a tierra sea mayor de un mega ohmio.
- Sin realizar ningún tipo de conexión, obtenga con la fuente trifásica un voltaje de línea de 220 V. Desconecte la fuente trifásica en la posición del voltaje obtenido (220 V).
- Conecte el motor trifásico a través de la fuente trifásica alimentando sus tres fases y energice la fuente. Tome datos de corriente de arranque, de trabajo y velocidad del motor. Para determinar la velocidad del motor, Energice el banco de pruebas y presione el pulsador de arranque del mismo. (sin haber realizado ninguna conexión en el panel de control del banco)
- Desenergice la fuente trifásica.
- Conectar el motor trifásico como monofásico al banco de pruebas, de acuerdo con el diagrama de conexiones de esta guía (Figura 24).
- Tomar datos de funcionamiento.
- Desenergice el banco de pruebas

- Conecte el motor trifásico como monofásico de tal forma que cambie el sentido de giro del motor. ver diagrama de conexiones. (Figura 24)
- Desenergice el banco de pruebas.
- Tomar datos de funcionamiento.
- Conectar el motor con espiras de sombra, verificar que las conexiones a la red sean las correctas de acuerdo con el diagrama de conexiones (figura 25) y tomar datos de funcionamiento.

Cuestionario

1. ¿Cómo se crea el campo giratorio del motor trifásico y del mismo trabajando como monofásico?.
2. ¿Cómo es la eficiencia de un motor trifásico conectado como monofásico comparado con el mismo motor trifásico trabajando bajo condiciones normales?
3. Explique el principio de funcionamiento de la conexión steinmetz.
4. ¿Los motores trifásicos vienen diseñados para trabajar bajo condiciones de una red trifásica, pero por algunas circunstancias es necesario conectarlo como monofásico, ¿cual es la diferencia de consumo (en amperios) de un motor trifásico funcionando como monofásico?
5. ¿Cómo se calcula la capacitancia del condensador para un motor trifásico trabajando como monofásico?.

6. ¿En que se diferencian las corrientes de arranque del motor trifásico comparado con el mismo trifásico conectado como monofásico?
7. Realice un esquema de la conexión steinmetz para un motor conectado en delta.
8. Explique brevemente el funcionamiento del motor espiras de sombra. ¿Cómo se produce el momento de arranque en un motor espiras de sombra?
9. ¿Cómo podría invertirse el giro de un motor espiras de sombra?
10. Diga si la siguiente afirmación es verdadera o falsa. El motor espiras de sombra produce el menor momento de arranque que cualquier otro tipo de motor de inducción (). Explique su respuesta.

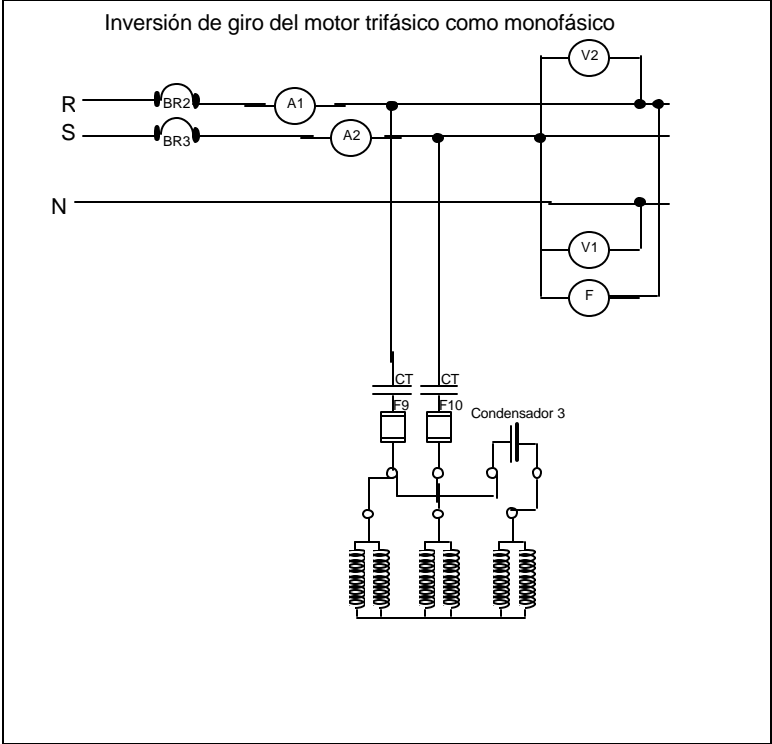
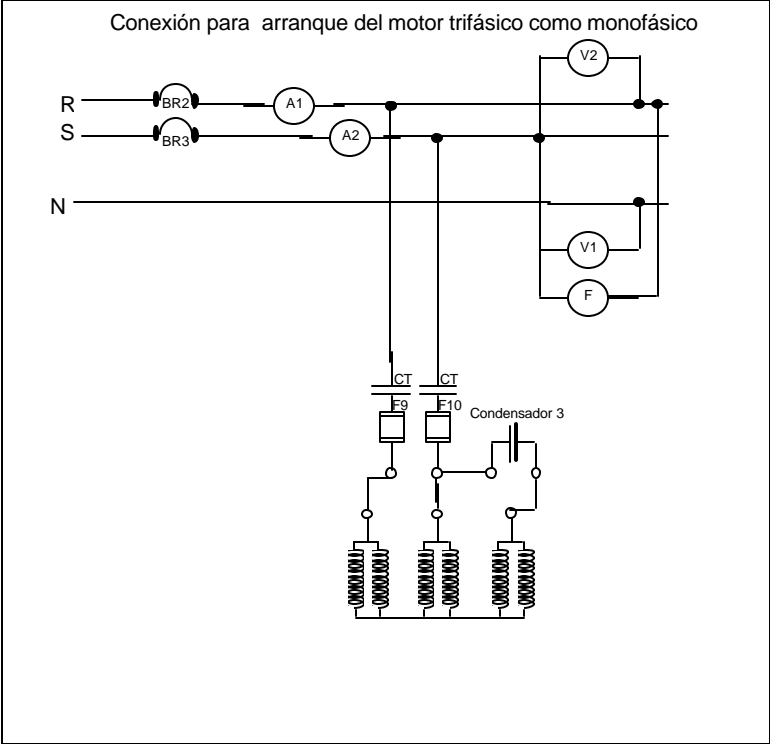


Figura 24. Diagrama de conexiones steinmetz para arranque e inversión de giro del motor trifásico como monofásico.

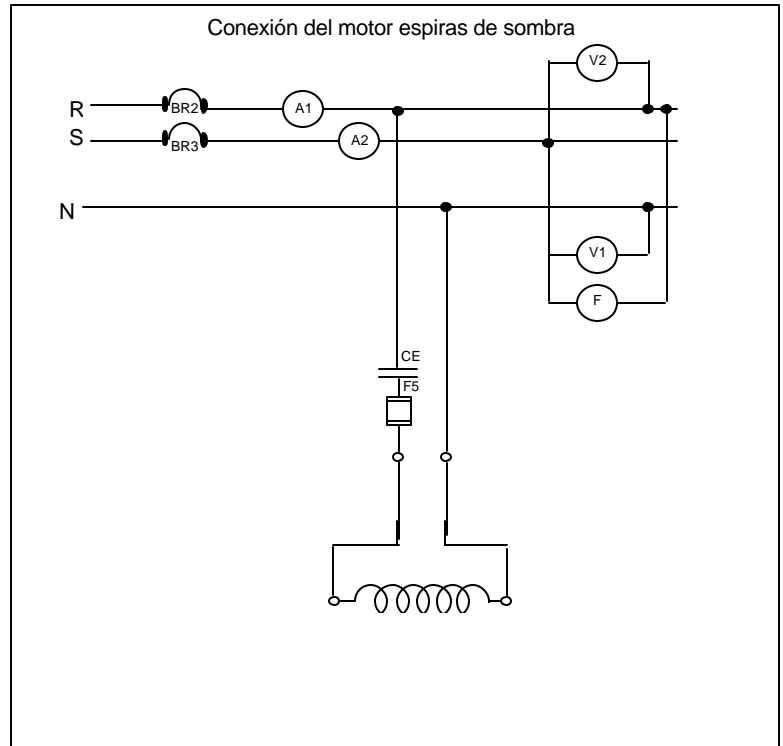


Figura 25. Diagrama de conexiones para el arranque del motor espiras de sombra

5.2 PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DEL GRUPO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA

5.2.1 Ensayos preliminares para el motor de corriente continua

Objetivos

- Identificar los bornes de conexión y cada uno de los devanados de las máquinas del banco de pruebas de corriente continua.
- Obtener el valor de resistencia óhmica de los devanados del motor del banco de pruebas de corriente continua.
- Medir el valor de resistencia de aislamiento a tierra del motor antes de energizarlo.
- Verificar la zona neutra geométrica del motor.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Grupo motor-generador de corriente continua.
- Voltímetro de bobina móvil.
- Multímetro digital.
- Megger
- Fuente variable de corriente continua.
- Caja negra de bornes de conexión.

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente los siguientes temas.

- Pruebas mínimas que se realizan a una máquina de corriente continua antes de ser energizada.
- Elementos componentes de una máquina de corriente continua y su función.
- Características de los devanados de una máquina de corriente continua.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A. Barcelona.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

1. Identificación de bornes de conexión y devanados del motor DC

Observación.

Para realizar esta práctica, el profesor de laboratorio debe colocar la caja negra de bornes de conexiones, la cual tiene como objetivo que el estudiante no tenga

conocimiento de la ubicación de los devanados que componen la máquina y la experiencia sea aprovechada al máximo.

Para la identificación de cada uno de los bornes y los devanados del motor se procede como sigue:

- Medir continuidad entre bornes e identificar los pares correspondientes. En las máquinas DC del banco de pruebas cada una presenta 5 pares de devanados.
- Se mide la resistencia óhmica de todos los pares resultantes, el de mayor resistencia corresponderá al devanado shunt.
- Para determinar los bornes correspondientes al arrollamiento de inducido, se mide continuidad con respecto a las escobillas si estas son accesibles. En ese caso, los bornes que den continuidad corresponden a los del devanado de inducido. Si las escobillas no son accesibles, se alimenta el devanado shunt con una tensión continua que puede ser igual a la nominal, se gira el rotor y se verifica entre los pares de bornes identificados, en cual se genera tensión. Por ser el campo, un campo estático que se alimenta con corriente continua, se induce tensión por rotación solo en el devanado del inducido.
- Para determinar que bornes corresponden al devanado serie, se mantiene la alimentación con tensión continua en el devanado shunt, pero ahora se cierra y se abre el circuito de este devanado y se verifica entre los pares de bornes restantes en cual se induce una tensión mayor. En el devanado serie, se induce mayor tensión por transformación, ya que se hace variar el flujo con la

conexión y desconexión en el devanado serie que está localizado sobre los mismos polos del devanado shunt.

- Los bornes restantes pertenecen a los interpolos.

2. Resistencia óhmica de los devanados

Existen varias opciones para encontrar la resistencia óhmica de cada devanado, las cuales, se mencionan a continuación.

- Aplicar la ley de ohm ($R = V / I$) una vez que se halla aplicado una tensión de corriente continua a los devanados y medido la corriente que circula a través de ellos.
- Utilizar un puente de alta precisión para medir la resistencia de cada devanado.
- Utilizar un óhmetro.

3. Comprobación y medición de la resistencia de aislamiento a tierra.

La medición de la resistencia de aislamiento a tierra se realiza a cada devanado independientemente uno del otro utilizando un megger o megóhmetro de lectura directa. Para dicho propósito debe colocarse el terminal positivo del megger en un punto de tierra del motor (carcasa o tornillos que no tengan pintura) y el otro terminal a uno de los bornes del devanado a medir.

En caso de no disponer de este elemento (Megger) se puede encontrar el valor de resistencia de aislamiento a tierra utilizando una fuente de corriente continua y un voltímetro de bobina móvil de alta resistencia interna. A continuación se describe el procedimiento para realizarlo:

- Se aplica la tensión continua nominal entre el elemento a medir (uno de los bornes de conexión del devanado) y tierra, se mide el valor de la tensión aplicada y se deduce además la caída de tensión en la resistencia de aislamiento de la forma en que se muestra en la figura 26. Si los devanados del motor no están interconectados en ninguna forma se debe realizar las medición para cada devanado. Para medir la tensión aplicada se cierran los interruptores S1 y S2 y se toma la lectura de voltímetro en una escala adecuada para que esta lectura aparezca al final de la escala y posteriormente sin cambiar de escala en el voltímetro se abre S2 (figura 27). El voltímetro indicará la caída en el propio aparato, por quedar conectado en serie con la resistencia de aislamiento.

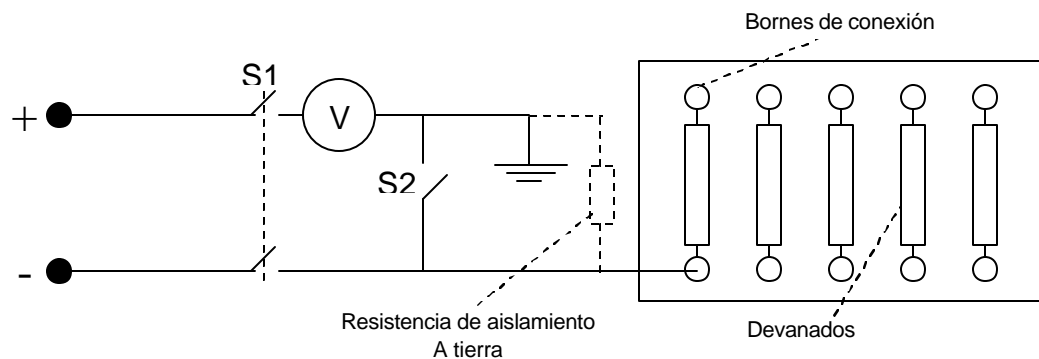


Figura 26 Conexión para medir la resistencia de aislamiento a tierra

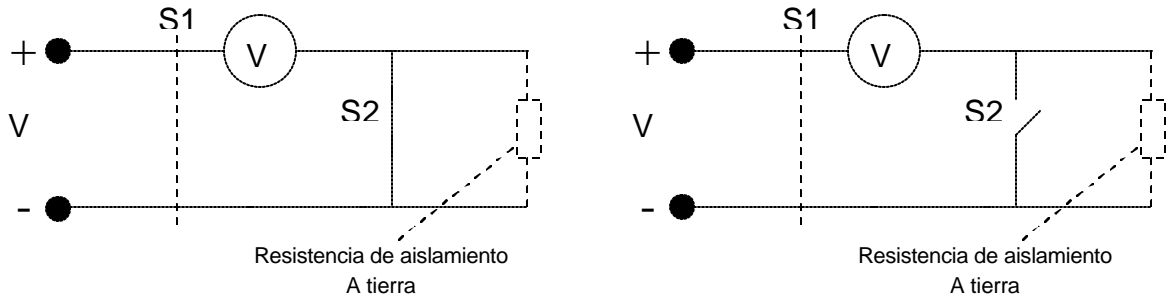


Figura 27. Maniobra para medir la resistencia de aislamiento a tierra.

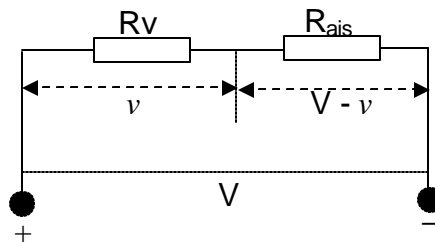


Figura 28. Circuito equivalente de la conexión realizada

La figura 28 representa el circuito equivalente de la conexión realizada y de ella se deduce:

$$\frac{v}{R_v} = \frac{V - v}{R_{ais}} \quad \text{por lo que} \quad R_{ais} = R_v \frac{V - v}{v}$$

donde

V: Tensión aplicada

v: Caída en el voltímetro

R_v : Resistencia interna del voltímetro.

R_{ais} : Resistencia de aislamiento a tierra

4. Determinación de la zona neutra geométrica

Para la localización de la zona neutra geométrica del motor se pueden utilizar dos métodos.

El primero consiste en alimentar el devanado de excitación shunt con una tensión continua adecuada (Valor nominal), se conecta a las escobillas o bornes del inducido un milivoltímetro o tester con una escala baja de voltaje y se abre y cierra el circuito de la excitación; como el rotor está fijo se induce, por transformación unas tensiones en los conductores del inducido (ver figura 29), en la mitad del lado superior en un sentido y en la mitad del lado inferior en sentido contrario.

Cuando las escobillas están localizadas en la zona geométrica, la tensión resultante en las mismas será nula, pues las escobillas conectan en serie los conductores de la mitad derecha y los de la mitad izquierda, formando un circuito paralelo entre las dos mitades; pues bien, como en la mitad de los conductores de la parte derecha, la tensión inducida está entrando hacia el plano del papel y en la otra mitad está saliendo, la suma de las tensiones será cero, por consiguiente si en el voltímetro se detecta una tensión apreciable al cerrar y abrir el circuito de excitación, se debe mover lentamente el portaescobillas hasta lograr la mínima tensión inducida. En la práctica no se logra exactamente la tensión cero, pero su valor no puede ser superior a unos pocos milivoltios.

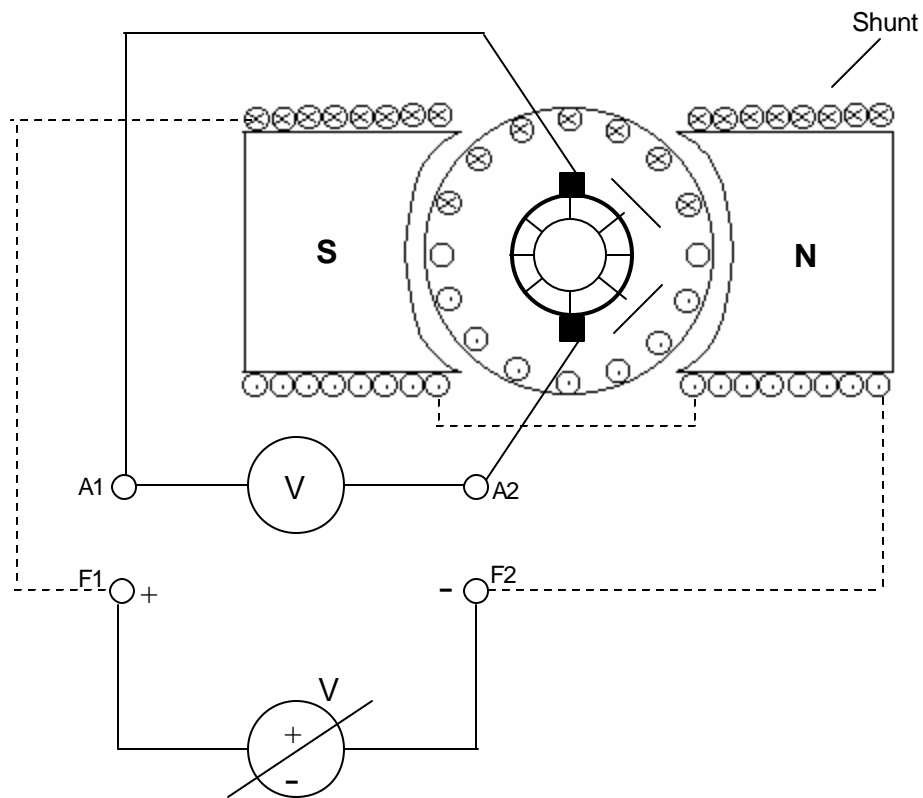


Figura 29. Conexión para determinar la zona neutra geométrica del motor DC utilizando el primer método

El segundo método consiste en conectar los interpolos en serie con el inducido y aplicar una tensión continua adecuada (tensión reducida mínima para que el motor gire si la zona neutra no ha sido localizada) como se indica esquemáticamente en la figura 30.

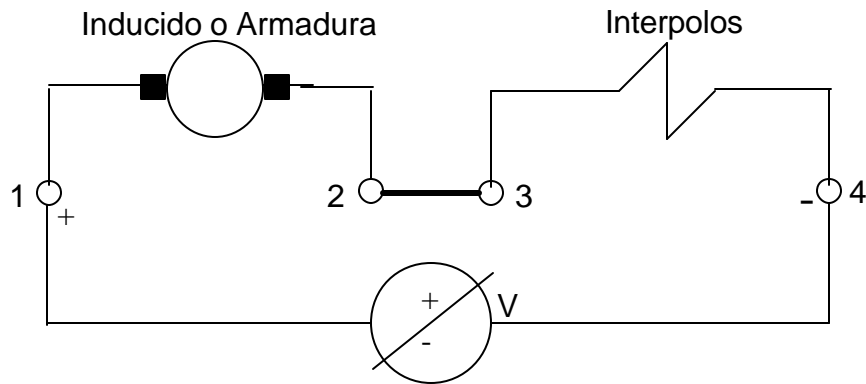


Figura 30. Conexión para determinar la zona neutra geométrica por el segundo método

Al aplicar tensión continua (Voltaje reducido) como se muestra en la figura 30, dependiendo de la posición del portaescobillas, el rotor del motor puede girar o no. Si al aplicar tensión continua el rotor no gira, eso indica que la zona neutra geométrica ya ha sido localizada y que el motor puede trabajar sin que exista deterioro del colector. Si por el contrario el motor gira, se debe desplazar el portaescobillas con movimientos mínimos y por prueba y error se determina la zona neutra geométrica. Ésta zona se obtiene cuando al aplicar tensión, el rotor del motor no gire en ningún sentido. Una manera de conseguir rápidamente la zona neutra geométrica, es primero buscar la zona en donde al aplicar tensión, el rotor invierta el sentido de giro, entonces en ese punto desplazar el portaescobillas con movimientos mínimos y precisos hasta que el motor no gire al aplicarle tensión.

Nota:

En razón de que las máquinas de corriente continua físicamente pueden trabajar como motores o generadores, los ensayos preliminares estudiados en esta experiencia son equivalentes a las máquinas de cc cuando trabajan como generador.

Cuestionario

- ¿Por qué es importante medir la resistencia de aislamiento a tierra en una máquina?.
- ¿Que riesgos tanto para los operarios como para la máquina se corren cuando un motor trabaja con bajo valor de resistencia de aislamiento a tierra?
- Explique el método de recuperación del valor de resistencia de aislamiento a tierra por calentamiento.
- ¿Por qué es necesario conocer los valores óhmicos de resistencia de los devanados en una máquina.
- ¿Que le sucede a una máquina de corriente continua si su zona neutra geométrica no está bien localizada.
- ¿Cual es la función de los devanados de compensación o interpolos?

5.2.2 Conocimiento del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua

Objetivos

- Identificar los elementos que componen el banco de pruebas del grupo motor - generador de corriente continua.
- Interpretar los diagramas eléctricos del circuito de control y circuito de potencia del banco de pruebas del grupo motor -generador de corriente continua para comprender la función de cada componente del banco.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Una (1) hora

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor – generador de corriente continua.

Fundamentación teórica

Para la realización de esta experiencia, el estudiante deberá investigar todo lo referente al control y mando de motores eléctricos, y además el funcionamiento de elementos de maniobra, desconexión y protección de circuitos de control.

Fuentes de consulta

- Enciclopedia CEAC de la electricidad. Maniobra, mando y control
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

En la figura 31, se observa la simbología empleada en el circuito eléctrico de control y de potencia.

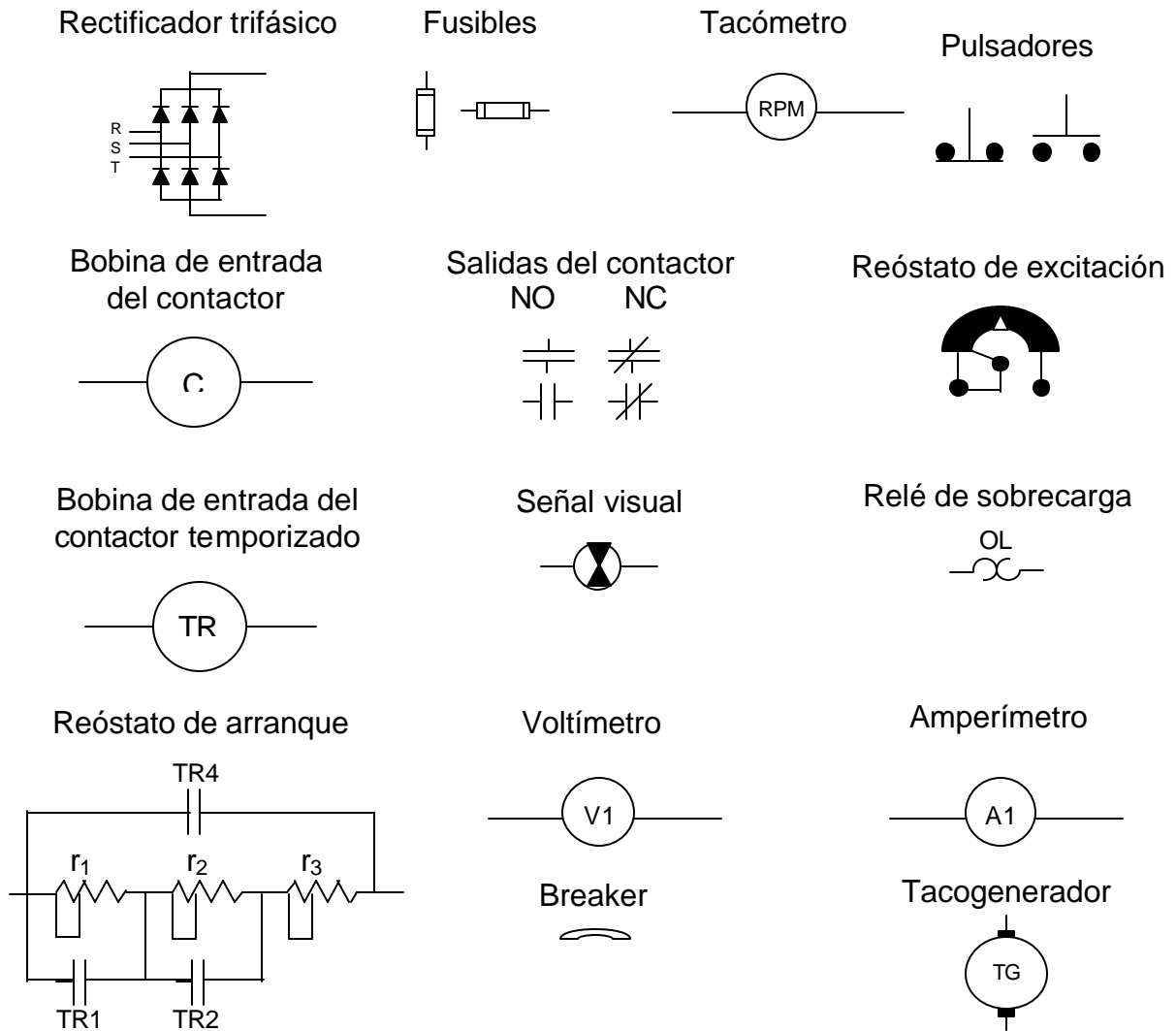


Figura 31. Simbología de elementos componentes del banco de pruebas del grupo-motor generador de corriente continua

En la figura 32, se observa el circuito eléctrico de los circuitos de control y de potencia del banco de pruebas del grupo motor – generador de corriente continua.

Procedimiento

- Conecte la alimentación trifásica a la red de 220 V AC 60 Hz. El enchufe del banco está conectado de tal forma que solo toma dos fases y el neutro se conecta a través de un conector que sale al exterior a través del enchufe y se puede conectar a cualquier toma de neutro disponible en el laboratorio (Figura 33). Si el neutro no es conectado, las señales visuales no se encenderán.

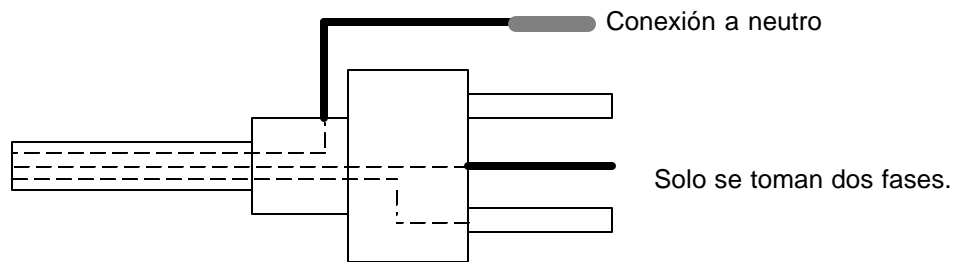


Figura 33. Forma de conexión del enchufe del banco de pruebas.

- Lleve a posición ON los breakers BR1, BR2, BR3 y BR4. Deben encenderse en el tablero de control, las luces rojas del motor y generador indicando que están en estado de apagado. De igual manera deben encenderse tres señales visuales en el plano eléctrico que indican que las resistencias de arranque están en serie con la armadura e interpolos del motor al momento del arrancar el mismo.
- Sin realizar ningún tipo de conexión, Lleve el interruptor S a posición OFF y presione el pulsador de arranque del motor. El circuito de arranque del motor

no debe arrancar, pero si es posible colocar en línea los terminales donde se conecta la carga con los terminales del generador, que están en el tablero.

- Para lograr activar el circuito de control, lleve el interruptor S a posición ON. Esta acción anula la protección de campo y permite accionar el circuito. El interruptor S solo debe estar en posición ON para motores en conexión serie y motores compound en derivación corta.
- Presione el pulsador de arranque del motor y siga cuidadosamente el proceso. La luz naranja del motor se enciende y la luz roja se apaga. Tome los tiempos de temporización de cada uno de los temporizadores y el tiempo total del ciclo de arranque. Observe que a medida que el circuito de control actúa, el plano eléctrico del banco indica instantáneamente el estado de cada uno de los elementos que lo componen.
- Presione el pulsador P4 y el circuito del generador coloca en línea los terminales donde se conecta la carga con los terminales del generador que están en el tablero. La luz naranja del generador se enciende y la luz roja se apaga.
- Presione los pulsadores de parada tanto del motor como del generador. Las señales visuales vuelven a su estado inicial.
- Presione nuevamente el pulsador de arranque del motor y espere su ciclo de arranque.
- Presione nuevamente el pulsador P4 del circuito del generador.

- Presione el pulsador de emergencia. Todo los elementos del banco se desenergizan y las señales visuales vuelven a su estado inicial.
- Lleve el interruptor S a la Posición OFF. Recuerde que para que la protección de campo esté activa, el interruptor S siempre debe estar en OFF, excepto para la conexión del motor serie o cualquier compound en derivación corta.
- Coloque en estado OFF los breakers BR1, BR2, BR3 y BR4.
- Desconecte el banco de pruebas.

Cuestionario

- Identifique y defina su función en el banco de pruebas los siguientes elementos: Contactor, Bloque auxiliar, contactor temporizado, pulsador de arranque, parada y emergencia, reóstatos de excitación, señales visuales, relés de sobrecarga y fusibles.
- ¿Que es corriente de sobrecarga?
- ¿Qué sucede en el banco de pruebas si el neutro no es conectado?
- Explique detalladamente el funcionamiento del circuito de control para el arranque del motor.
- Explique como se mide la velocidad de rotación del grupo motor –generador del banco de pruebas.
- ¿Cuál es la función del interruptor S en el banco de pruebas?.

5.2.3 Comportamiento del motor de cc en el arranque

Objetivos

- Observar y verificar experimentalmente el comportamiento de un motor de corriente continua en el momento de arranque.
- Comprender la importancia de arrancar un motor de corriente continua a tensión reducida utilizando un arrancador automático por resistencias.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Una (1) hora

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generator de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo relacionado con el comportamiento del motor de corriente continua en el momento de arranque y los métodos que se utilizan para realizar dicha maniobra. Además debe investigar la forma de calcular el número de pasos de resistencia de un circuito de arranque y la forma de calcular los valores de los mismos.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados en ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Medir la resistencia del circuito de armadura en serie con los interpolos del motor (R_i).
- El reóstato de arranque está conformado por tres pasos de resistencia más la resistencia de armadura R_i (medido en el paso anterior). Las resistencias de arranque son r_1 , r_2 y r_3 y sus valores son 3.6Ω , 2.6Ω y 1.9Ω respectivamente. Los valores de resistencia fueron ajustados aplicando una tensión de corriente continua a las resistencias, midiendo la corriente que circulaba por cada una de ellas y luego aplicando la ley de ohm $R = V/I$.
- Tomar datos de placa del motor, I_n , V , r.p.m.
- Conectar el motor con excitación shunt. Ver diagrama de conexiones de ésta guía (figura 34).
- Verifique que el interruptor S de protección de campo esté en OFF.
- Energice el banco y arranque el motor, teniendo en cuenta que el reóstato de campo esté en mínimo. Observe el comportamiento de la corriente en el amperímetro uno (A1) en cada paso de resistencia. Usted observará una corriente alta en el arranque, pero no logrará notar la corriente de conmutación y los picos sucesivos, debido a que por la poca inercia del eje del motor, éste adquiere alta velocidad, en el momento de aplicar tensión. Al tener alta

velocidad el motor, creará una fuerza contraelectromotriz que no permite que la corriente de armadura se eleve después del momento de arranque.

- Observe el comportamiento de la velocidad del motor en cada paso de resistencia. Después de dar orden de arranque el motor se acelera hasta un punto en que ya no tiene más aceleración y es en ese momento cuando se cortocircuita el primer paso de resistencia. El proceso se repite hasta que se cierra el último paso de resistencia. Mida los tiempos de temporización de cada paso y el tiempo total del ciclo de arranque.
- De orden de parada al motor y desenergice el banco.

Con los datos tomados anteriormente, se está en condiciones de efectuar los cálculos y comparar con los valores observados.

Cálculos.

En esta experiencia se consideran 3 pasos de resistencia ($N=3$) por lo tanto

$$R_1 = R_i + r_1 + r_2 + r_3 =$$

$$R_2 = r_2 + r_3 + r_i =$$

$$R_3 = r_3 + r_i =$$

donde R_1, R_2 y R_3 son los valores de resistencia del reóstato de arranque en cada paso de resistencia.

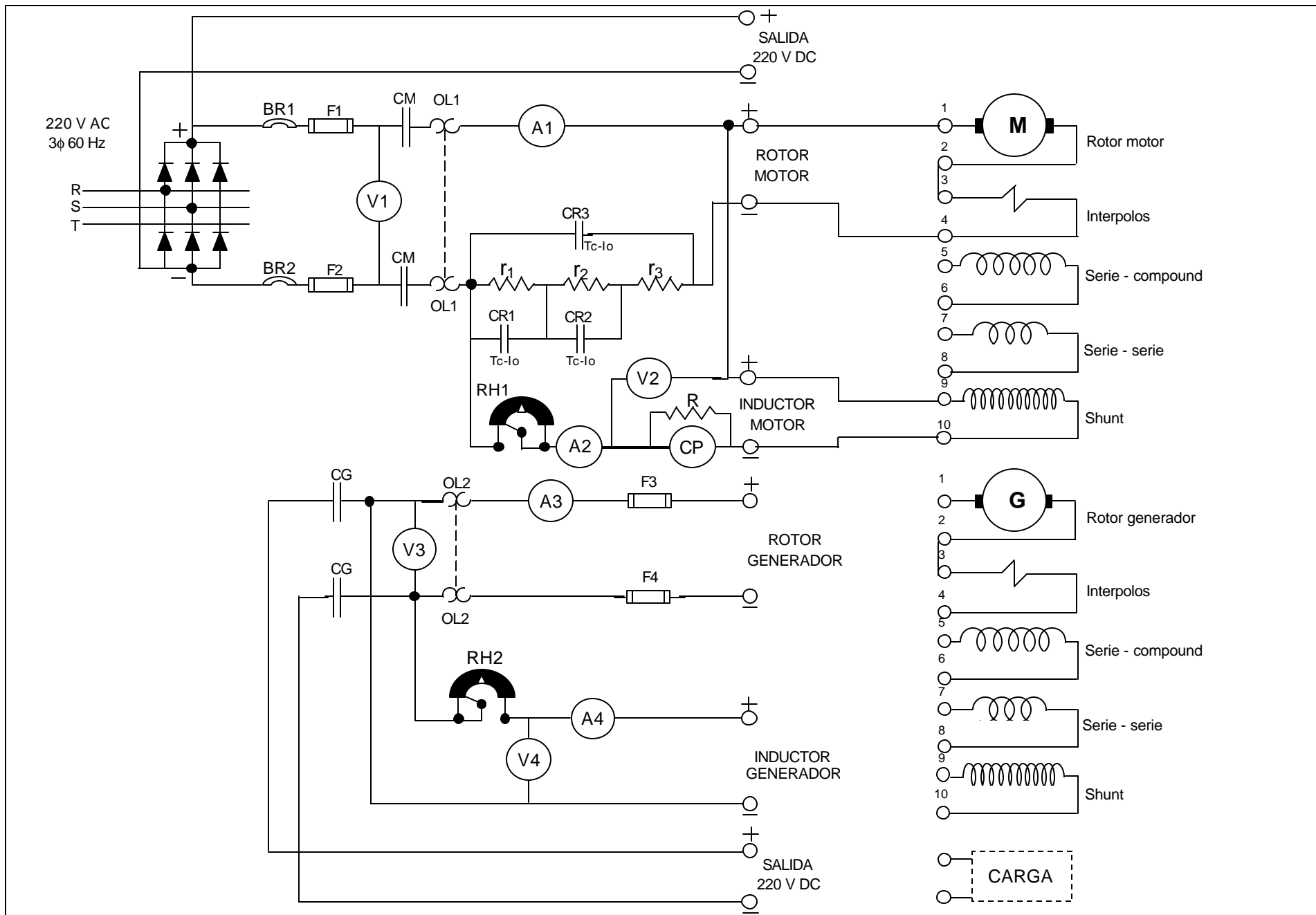
$I_p = V / R_1 =$ Comparar con el valor observado en el amperímetro 1 (A1).

$y = I_p / I_n =$ Número de veces de la corriente de arranque con respecto a la nominal.

Cuestionario

1. ¿Porqué se debe limitar la corriente de arranque en motores de corriente continua?
2. ¿Cómo se puede mantener la corriente de armadura en valores razonablemente bajos cuando un motor está en períodos de arranque y aceleración?
3. ¿La fuerza contraelectromotriz puede llegar a ser igual o mayor al voltaje impreso en los terminales del motor?, ¿Porqué?
4. ¿Qué riesgos considerables, puede ocasionar un motor de potencia al arrancarlo directo de línea?
5. ¿Que son corriente de pico y corriente de conmutación?
6. ¿Qué determina la suavidad en el arranque de un motor de cc?

7. ¿Qué ocurre si se trata de arrancar el motor con el reóstato de campo en resistencia máxima?
8. ¿Aproximadamente que porcentaje de voltaje impuesto en un motor es el valor de la fuerza contraelectromotriz?
9. ¿Porqué un motor de corriente continua conectado en shunt o en una conexión compound larga aditiva o diferencial no debe ser arrancado sin excitación en el campo shunt?
10. Calcule el número de pasos de resistencias de arranque y el valor de cada resistencia para un motor de cc de 100 hp, 250 V y 350 A con una resistencia de armadura de 0.05Ω , de manera que su corriente de arranque (corriente de pico) esté limitada al doble de su valor nominal y su corriente de conmutación sea su valor nominal.



5.2.4 Comportamiento del motor de cc con excitación shunt

Objetivo

- Observar y verificar experimentalmente el comportamiento de un motor de corriente continua con excitación shunt.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Banco de resistencias variables o banco de lámparas incandescentes (carga)
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente las características de un motor de corriente continua con excitación shunt.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Verifique que el banco de pruebas esté desenergizado antes de realizar algún tipo de conexión.

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados en ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conectar el motor de cc con excitación shunt como se indica en el diagrama de conexiones de la guía (Figura 35).
- Conectar el generador en conexión shunt según el diagrama de conexiones de la guía (Figura 35).
- Energice el banco de pruebas y verifique que el voltaje del voltímetro 1 sea de 220 V DC.
- Verificar que el reóstato de campo del motor esté en posición mínima.
- Verificar que el reóstato de campo del generador esté en posición máxima.
- Verificar que el interruptor S de protección de campo esté en posición OFF.
- Presione el pulsador de arranque del motor y espere que cumpla el ciclo de arranque. (Al cumplir el ciclo de arranque, el motor debe exceder su velocidad nominal, 1450 rpm, en aproximadamente unos 100 rpm, de tal forma que el motor queda aproximadamente en su velocidad nominal cuando el generador tenga 220 V DC en sus terminales, sin carga.
- Con el reóstato de campo del generador incremente la corriente de excitación hasta que el voltaje en sus terminales sea el nominal (220 V DC). (En este momento la velocidad del motor debe ser un poco menor de la nominal)
- Utilizando el reóstato de campo, ajuste el motor a su velocidad nominal.
- En estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.

- Presione el pulsador de entrada del generador para colocar en línea la carga.
- Comience a incrementar la carga al generador con pasos de 200 hasta 1200W y registre en cada paso los valores de voltaje, corriente de armadura y velocidad (rpm) en el motor, al igual que la corriente y voltaje de armadura en el generador. Para todos los incrementos de carga se debe mantener en lo posible voltaje nominal en los terminales del generador (sin variar la velocidad del conjunto). Es importante verificar en cada incremento de carga que la corriente de armadura tanto del motor como del generador no exceda su valor nominal.
- Después de tomadas las lecturas, disminuya gradualmente la carga verificando que la velocidad del motor y el voltaje en los terminales del generador no excedan su valor nominal.
- Saque de línea la carga del generador.
- Apague el motor.
- Coloque los reóstatos de campo del motor y el generador en posición de mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Desenergice el banco de pruebas.
- Con los datos obtenidos realice la siguiente tabla

Carga (W)	Velocidad S (rpm)	I _{Armadura} (A) motor	V _{Armadura} (V) motor	I _{Armadura} (A) generador	V _{Armadura} (V) generador

- Calcule la regulación de velocidad mediante la ecuación

$$\% \text{ Regulación} = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

donde

S_o : Velocidad en vacío

S : Velocidad con carga

- Con los datos tabulados, elabore la gráfica S vs I_A.

Cuestionario

- ¿Porqué en un motor de cc con excitación shunt, el Par es proporcional a la corriente de armadura?
- ¿Cómo es el grado de estabilidad de un motor shunt?
- ¿Cómo puede controlarse la velocidad de un motor de cc con excitación shunt?

Explique su respuesta detalladamente.

- ¿En que casos es recomendable la utilización de un motor shunt?
- Enumere varias aplicaciones prácticas de los motores shunt.
- Porqué el motor shunt es llamado de velocidad constante?
- ¿Porqué en cada paso de carga hay que mantener el voltaje nominal en los terminales del generador?
- ¿Que efecto tiene la reacción de inducido sobre la característica momento de torsión vs velocidad de un motor shunt?
- A partir de los cálculos resultantes y las gráficas obtenidas, emita conclusiones acerca del comportamiento del motor shunt.

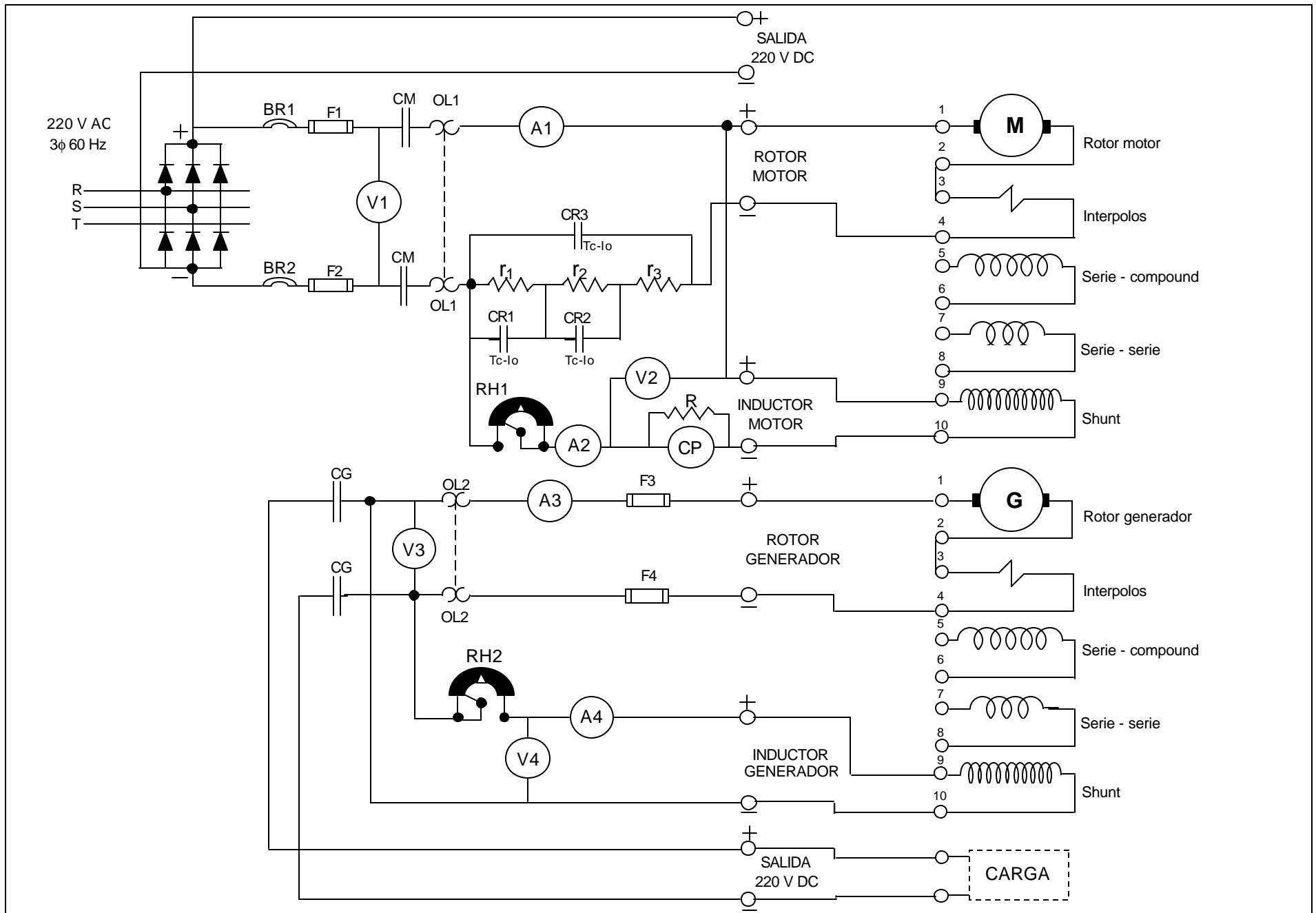


Figura 35. Diagrama de conexiones para laboratorio 4

5.2.5 Comportamiento del motor de cc con excitación serie

Objetivo

- Observar y verificar experimentalmente el comportamiento de un motor de corriente continua con excitación serie.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Banco de resistencias variables o banco de lámparas incandescentes (carga)
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente las características de un motor de corriente continua con excitación serie.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Verifique que el banco de pruebas esté desenergizado antes de realizar algún tipo de conexión.

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conectar el motor de cc en serie de acuerdo al diagrama de conexiones de la guía (Figura 36). (Utilizar como campo de excitación el devanado serie-serie, localizado entre los bornes 7 y 8).
- Conectar el devanado shunt del generador según el diagrama de conexiones de la guía. Observe que el generador está conectado con excitación independiente, de tal forma que genere inmediatamente su eje empiece a girar. Si desea registrar la corriente de excitación del generador inserte en serie con el campo del mismo un amperímetro de pequeña escala.
- Al generador se le conectará como carga un banco de resistencias variables o un banco de lámparas incandescentes.
- Con el pulsador de entrada del generador conecte la carga de 1200 W, gradúe el reóstato de excitación del generador a su posición de mínima resistencia. Tenga en cuenta que el motor va a arrancar con la carga de 1200 W, con el fin de evitar una sobre velocidad.
- Antes de arrancar el motor verifique las conexiones del motor de modo que gire en el sentido correcto (Los diagramas de conexiones fueron realizados de tal forma que el grupo gire en el sentido que indica la flecha en el motor) y que el interruptor S de protección de campo esté en posición ON.
- Con el generador cargado en el valor preestablecido, arranque el motor y espere su ciclo de arranque.

- El voltaje del generador debe alcanzar en ese momento su valor nominal (220 V DC)
- Comience a disminuir la carga en el generador con pasos de 200 W, tome nota de las rpm y de la corriente de armadura I_A del motor hasta que la carga del generador se haya reducido a 800 W. Por ningún motivo permita que el generador vaya a quedar sin carga, y tenga en cuenta que las rpm no excedan las escala del tacómetro.
- Cuando el generador tenga 800 W y se hayan efectuado las anotaciones, apague el motor, saque de línea la carga del generador.
- Lleve el interruptor S a posición OFF.
- Desenergice el banco de pruebas.
- Con los datos tomados, elabore la siguiente tabla

Carga (W)	Velocidad S (rpm)	$I_{armadura}$ (A) motor	$V_{armadura}$ (V) motor	$I_{armadura}$ (A) generador	$V_{armadura}$ (V) generador

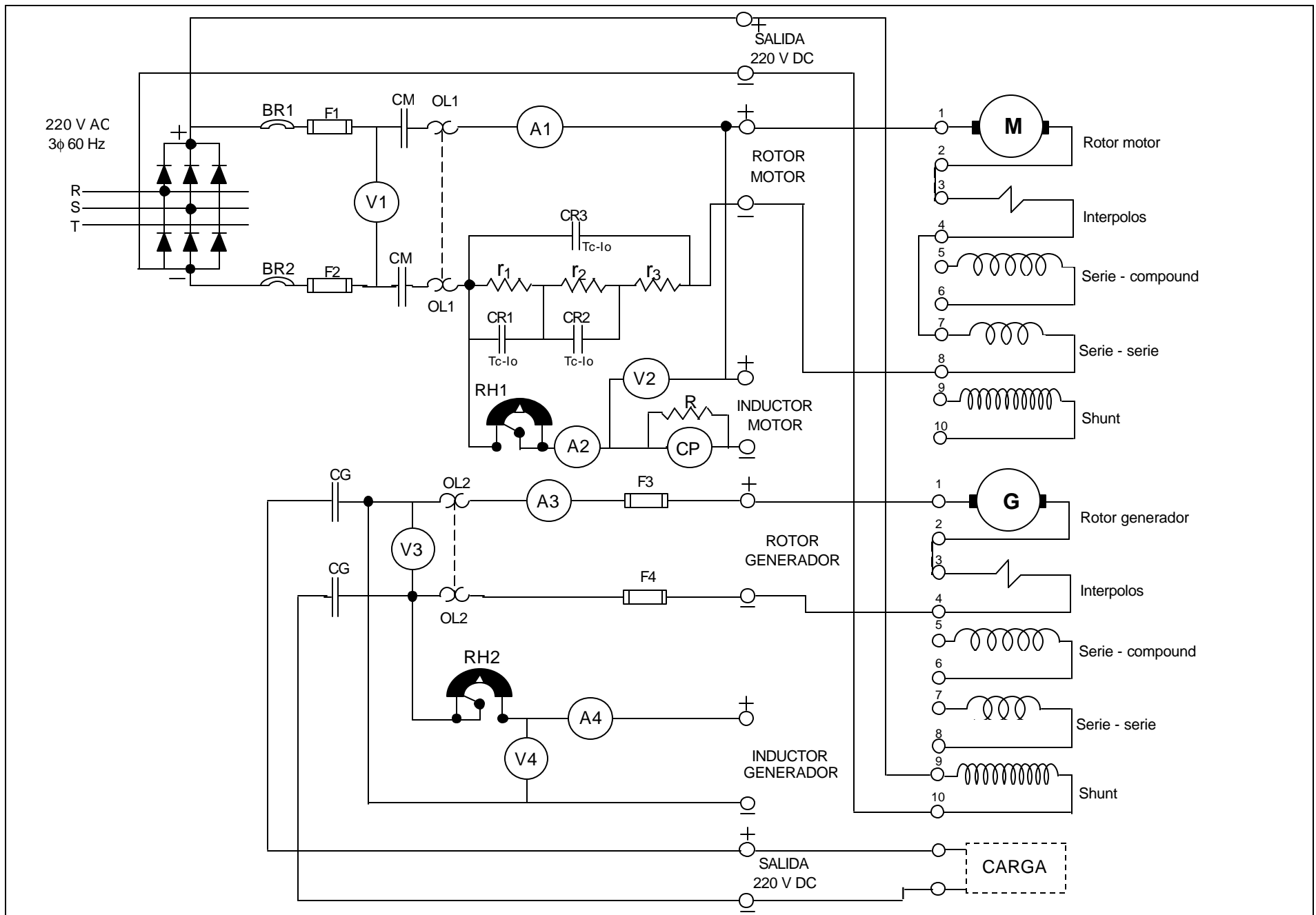
- Calcule el % de regulación de velocidad mediante la ecuación

$$\% \text{ Regulación} = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

- Con los datos obtenidos en la tabla, graficar la curva S vs I_A .

Cuestionario

- ¿Porqué el campo en los motores serie tienen pocas vueltas y es de grueso calibre?
- Enumere varias aplicaciones prácticas de los motores serie.
- ¿Porqué el motor serie no se debe arrancar en vacío?
- ¿Que precauciones se deben tener en cuenta cuando se está operando un motor serie y porqué?
- Describa brevemente los cambios que observó en el motor al aumentar o disminuir la carga y porque.
- A partir de los cálculos resultantes y las gráficas obtenidas, emita conclusiones acerca del comportamiento del motor serie.



5.2.6 Comportamiento del motor de cc con excitación compound aditiva

Objetivo

- Observar y verificar experimentalmente el comportamiento de un motor de corriente continua con excitación compound larga aditiva .

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generator de corriente continua.
- Banco de resistencias variables o banco de lámparas incandescentes (carga)
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente las características de un motor de corriente continua con excitación compound aditiva.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Verifique que el banco de pruebas esté desenergizado antes de realizar algún tipo de conexión.

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conectar el motor en compound largo aditivo de acuerdo al diagrama de conexiones de la guía (Figura 37). Utilizar como campo de excitación serie el devanado serie compound, localizado entre los bornes 5 y 6.
- Verifique que el reóstato de excitación del motor esté en la mínima resistencia.
- Verifique que el reóstato de excitación del generador esté en la máxima resistencia.
- Verificar que el interruptor S de protección de campo esté en posición OFF.
- Conectar el generador en shunt de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía.
- Conectar como carga del generador un banco de resistencia variable ó un banco de lámparas incandescentes.
- Arrancar el motor y esperar que éste cumpla su ciclo de arranque.
- Con el reóstato de campo del generador, ajuste el voltaje en sus terminales al valor nominal (220 VDC)
- Con el reóstato de excitación ajuste las rpm del motor hasta que gire a su velocidad nominal (1450 rpm).
- En estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.
- Aumente la carga con incrementos de 200 W y en lo posible =mantenga el voltaje del generador en su valor nominal. En cada incremento de carga tome

lectura de voltaje, corriente de armadura y las rpm del motor y a su vez corriente y voltaje de armadura en el generador.

- Una vez tomados todos los datos necesarios, proceder a disminuir paulatinamente la carga en la misma secuencia de incremento.
- Saque de línea la carga del generador y apague el motor.
- Coloque los reóstatos de campo del motor y el generador en posición de mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Desenergice el banco de pruebas.
- De acuerdo a las lecturas tomadas, elaborar la siguiente tabla

Carga (W)	Velocidad (rpm)	I _{armadura} (A) motor	V _{armadura} (V) motor	I _{armadura} (A) generador	V _{armadura} (V) generador

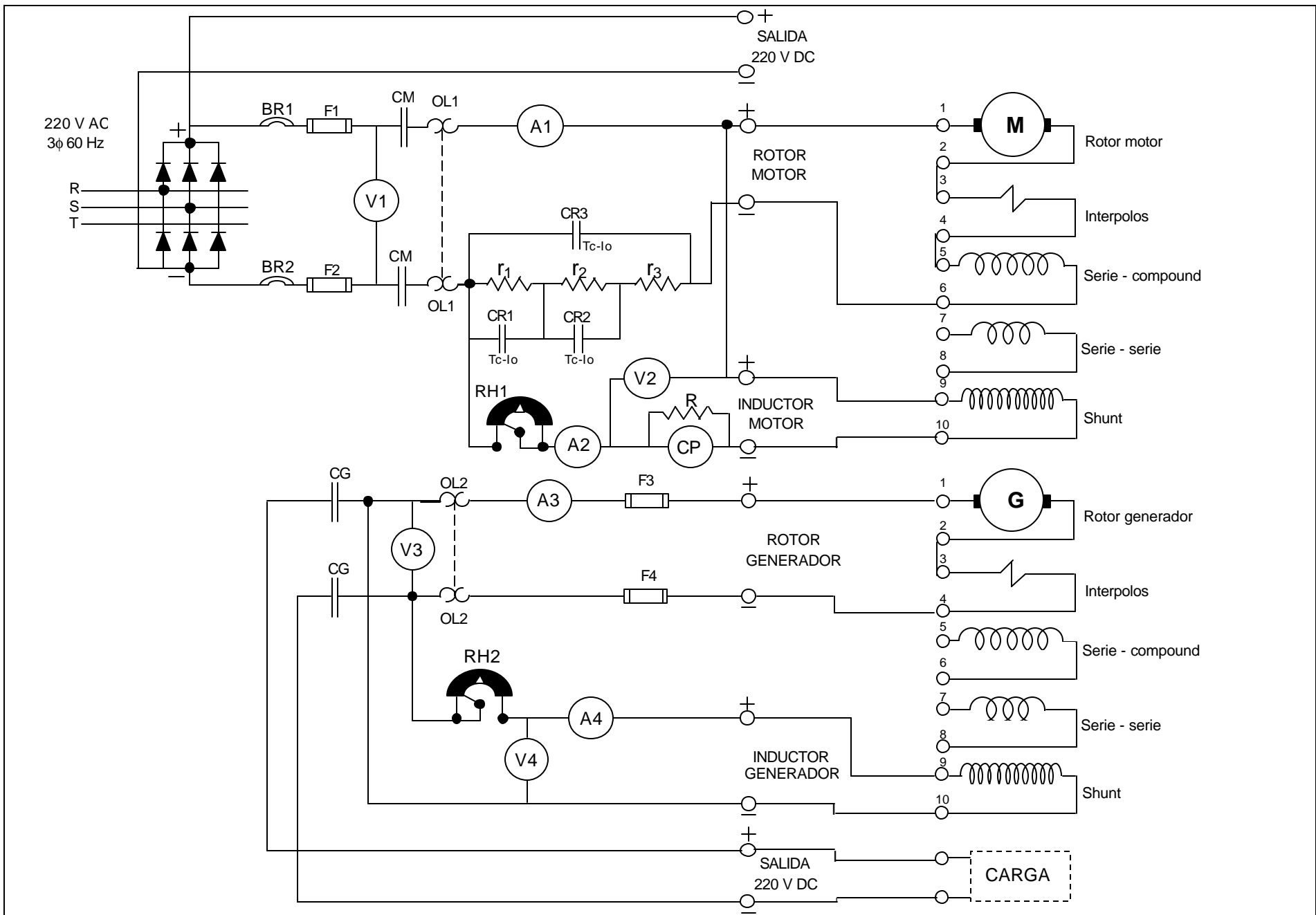
- Con los datos de la tabla graficar. S vs I_A

Observación:

- Se propone al estudiante la verificación del comportamiento del motor compound corto aditivo.

Cuestionario

- ¿Explique el término aditivo en un motor compound?
- ¿Porqué un motor compound es considerado de velocidad variable?.
- ¿Que ocurriría si al motor compound se le abre el devanado shunt?
- ¿Que ocurriría si al motor compound se le cortocircuita el devanado serie?
- Enumerar varias aplicaciones del motor compound aditivo.
- A partir de los cálculos resultantes y las gráficas obtenidas, emita conclusiones acerca del comportamiento del motor compound aditivo.



5.2.7 Comportamiento del motor de cc con excitación compound diferencial

Objetivo

- Observar y verificar experimentalmente el comportamiento de un motor de corriente continua con excitación compound largo diferencial.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generator de corriente continua.
- Banco de resistencias variables o banco de lámparas incandescentes (carga).
- Cables y terminales necesarios.

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente las características de un motor de corriente continua con excitación compound diferencial.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Verifique que el banco de pruebas esté desenergizado antes de realizar cualquier tipo de conexión.

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conectar el motor en compound diferencial según el diagrama de conexiones de la guía (Figura 38).
- Conectar el generador en shunt según el diagrama de conexiones de esta guía (Figura 38).
- Verificar que los reóstatos de excitación del motor y generador estén en mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Conectar como carga del generador el banco de resistencias variables o el banco de lámparas incandescentes.
- Cortocircuitar el campo serie compound para evitar la influencia del mismo en el arranque.
- Verifique que el interruptor S de protección de campo esté en posición OFF.
- Energice el banco, arranque el motor y espere que se cumpla el ciclo de arranque. Inmediatamente después quite el puente que cortocircuita al devanado serie compound.
- Gradúe la excitación del generador hasta que en sus terminales el voltaje sea de 220 V DC.
- Con el reóstato de excitación del motor, gradúe las rpm hasta su velocidad nominal.
- En estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.

- Con el pulsador de entrada del generador coloque en línea la carga.
- Comience a variar la carga con incrementos de 100 W hasta 500 W, de aquí en adelante el motor pierde por completo la estabilidad. En caso de notar inestabilidad en el motor (500 W en adelante), apague el motor o pulse inmediatamente la parada de emergencia.
- Para cada incremento tome lecturas de corriente de armadura y las rpm del motor y a su vez voltaje y corriente de armadura del generador. Para cada incremento de carga se debe mantener en lo posible el voltaje del generador en el valor nominal.
- Disminuya la carga en la misma forma que la incrementó, desconecte la carga del generador y apague el motor.
- Coloque los reóstatos de campo del motor y generador en posición de mínima y máxima resistencia respectivamente.
- De acuerdo a los datos tomados elabore la siguiente tabla.

Carga (W)	Velocidad (rpm)	$I_{armadura}$ (A) motor	$V_{armadura}$ (V) motor	$I_{armadura}$ (A) generador	$V_{armadura}$ (V) generador

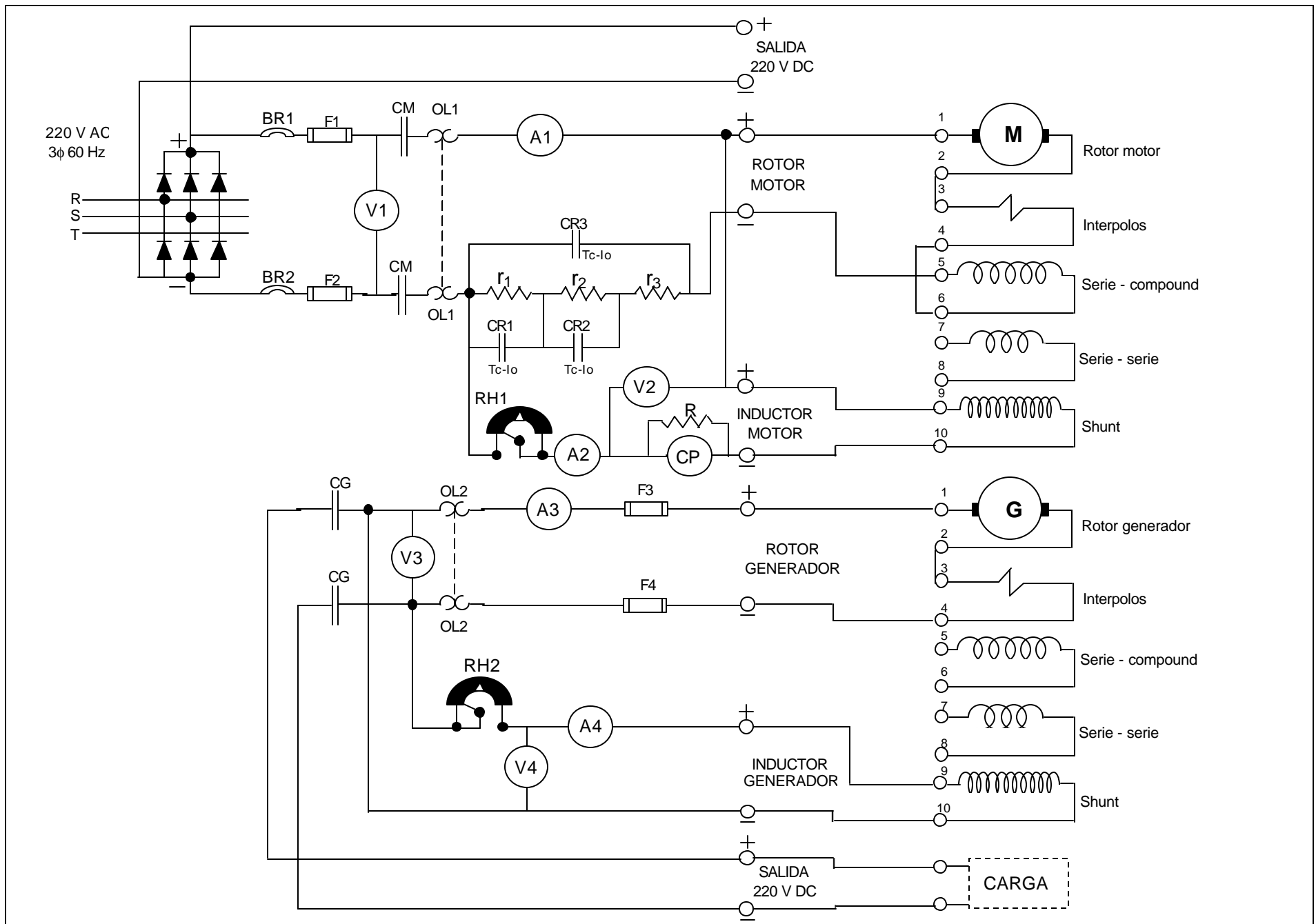
- Con los datos tabulados, trace la gráfica S vs I_A .

Observación:

- Se deja como ejercicio propuesto la verificación del comportamiento del motor compound corto diferencial.

Cuestionario

- ¿Porqué el motor compound diferencial se vuelve inestable para altas cargas?
- ¿Por qué se debe cortocircuitar el campo serie de los motores compound diferencial en el momento de arranque?
- ¿Puede el motor compound diferencial cambiar el sentido de rotación a causa de una carga muy elevada? Explique su respuesta.
- Que cambio en el motor compound diferencial debe hacerse para que se convierta en un motor compound aditivo.
- A partir de los cálculos resultantes y las gráficas obtenidas, emita conclusiones acerca del comportamiento del motor compound diferencial.



5.2.8 Verificación de la saturación magnética de los campos en un generador de cc autoexcitado sin carga (característica de vacío)

Objetivo

Observar y determinar experimentalmente la saturación magnética en los campos de un generador autoexcitado sin carga.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo referente al generador de corriente continua con excitación propia ó autoexcitado.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

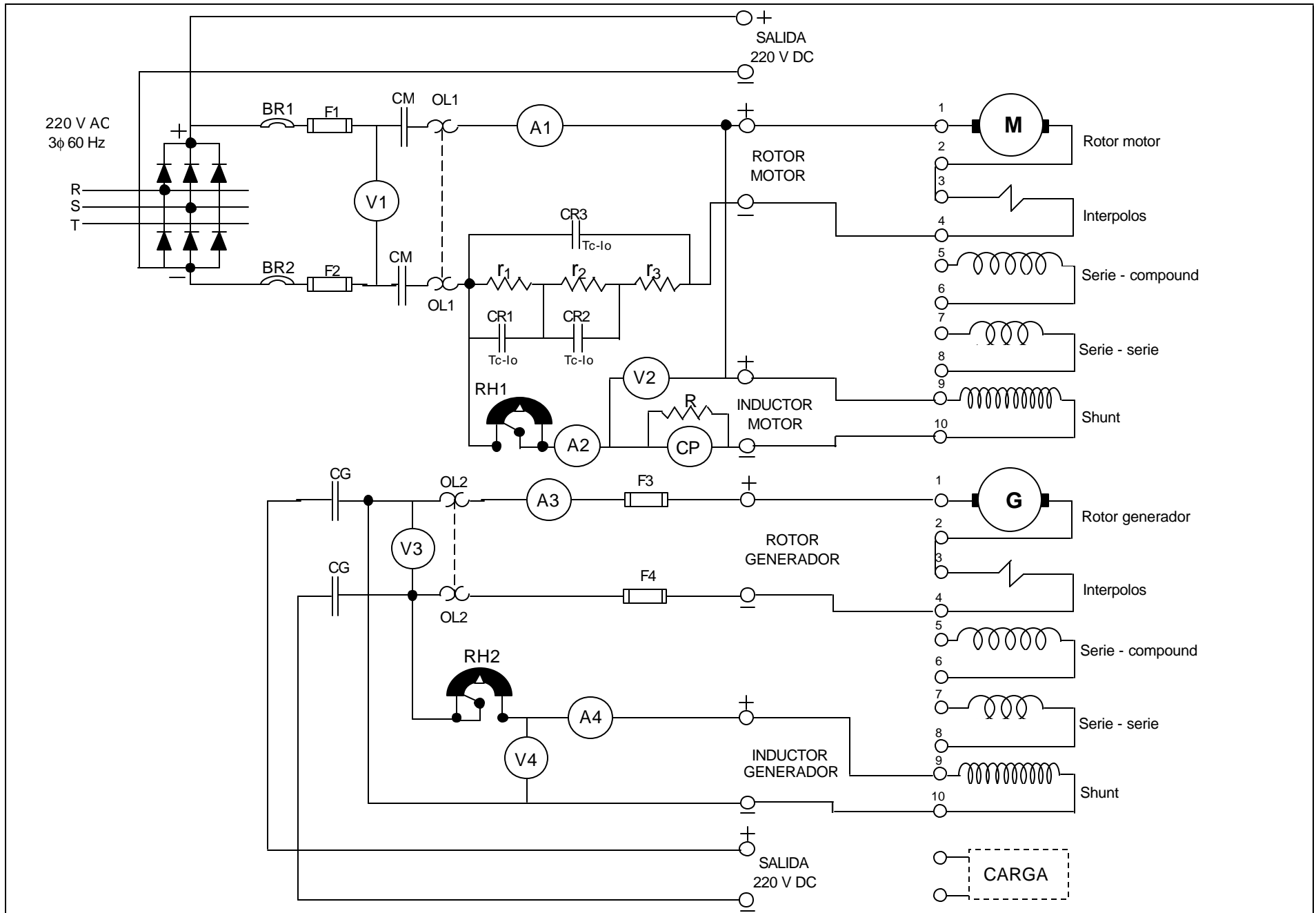
Procedimiento

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.

- Verifique que el banco de pruebas esté desenergizado antes de realizar cualquier tipo de conexión.
- Conecte el motor con excitación shunt de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía (Figura 39).
- Conecte el generador en shunt de acuerdo al diagrama de conexiones de ésta guía (Figura 39).
- Verificar que los reóstatos de excitación del motor y generador estén en mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Una vez verificadas todas las conexiones, arranque el motor y espere su ciclo de arranque llevándolo hasta una velocidad de 1450 rpm
- Incremente la corriente de excitación del generador y cada 25 mA efectúe las respectivas mediciones (Voltaje generado (E_A) y Corriente de excitación (I_F) del generador) teniendo en cuenta que las rpm del conjunto permanezcan en el valor nominal (1450 rpm). Este incremento se logra disminuyendo la resistencia de campo del generador y debe hacerse lo mas lentamente posible para que la corriente varíe en una sola dirección.
- Después de alcanzado el valor nominal del voltaje generado (220 V DC), disminuya la excitación en el generador (llevar a resistencia máxima).
- Disminuya la resistencia de excitación del motor y desenergicelo.
- Lleve a posición OFF todos los breakers del banco de pruebas y desconéctelo.
- De acuerdo a los datos tomados elabore la curva de saturación magnética E_A vs I_F .

Cuestionario

- Explique el término de Remanencia.
- ¿Cómo se mide el valor producido por el magnetismo remanente en el generador?
- Explique porqué la curva que usted construye no comienza en el origen de coordenadas.
- Si se aumentan las rpm del generador a valores de velocidad superiores a la nominal, ¿que variación tiene la curva y porque?
- Explique si es posible y si lo es, como se podría hacer que el origen de coordenadas fuese en el origen o lo más cerca posible.
- Analizar la gráfica resultante y emitir conclusiones.



5.2.9 Verificación de la saturación magnética de los campos en un generador de cc con excitación independiente en vacío y comportamiento del mismo bajo condiciones de carga

Objetivos

- Observar y determinar experimentalmente la saturación magnética en los campos de un generador con excitación independiente sin carga.
- Verificar el comportamiento del generador con excitación independiente bajo condiciones de carga.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios.
- Fuente de corriente continua variable ó resistencia variable de 0 a 500 Ohm o de valor cercano.
- Amperímetro DC de baja escala. 0 a 1 A

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo referente al generador de corriente continua con excitación independiente.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.

- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

Observación.

Debe tener en cuenta que para esta práctica, el voltímetro 1, es decir, aquel que mide el voltaje de armadura del motor, indica también el voltaje de campo del generador.

Curva de saturación magnética. Característica de vacío.

- Verifique que el banco de pruebas no esté energizado.
- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conecte el motor con excitación shunt de acuerdo al diagrama de conexiones de este guía (Figura 40).
- Conecte el generador con excitación independiente de acuerdo al diagrama de conexiones de ésta guía (Figura 40).

- Verificar que los reóstatos de excitación del motor y generador estén en mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Verifique que el interruptor S esté en posición OFF.
- Una vez verificadas todas las conexiones, energice el banco de pruebas, arranque el motor, espere su ciclo de arranque y llévelo hasta velocidad nominal. (1450 rpm)
- Incremente la corriente de excitación del generador y cada 25 mA efectúe las respectivas mediciones (Voltaje generado, E_A , y Corriente de excitación, I_F , del generador) teniendo en cuenta que las rpm del conjunto permanezcan en el valor nominal.
- Después de alcanzado el valor nominal del voltaje generado (220 V DC), disminuya la excitación en el generador (llevar a resistencia máxima) y desenergicelo.
- Disminuya la resistencia de excitación del motor y desenergicelo.
- Desconecte el banco de pruebas.
- De acuerdo a los datos tomados elabore la curva de saturación magnética E_A vs I_F .

Comportamiento bajo condiciones de carga

- Verifique que el banco de pruebas no esté energizado.

- Conecte el generador en shunt de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía.
- Conectar el motor en shunt (excitación independiente) según el diagrama de conexiones de esta guía.
- Verifique que los reóstatos de campo de motor y generador estén en posición de mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Verifique que el interruptor S esté en posición OFF.
- Energice el banco de pruebas, arranque el motor y espere su ciclo de arranque
- Incremente la corriente de excitación del generador que el voltaje en sus terminales sea 220 V DC y llévelo a velocidad nominal.
- Meta en línea al generador una carga de 600 W y en estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.
- Retire completamente la carga y deje el grupo trabajando a velocidad nominal y con 220 V en los terminales del generador.
- Comience a incrementar la carga en pasos de 200 W hasta 1200 W manteniendo constante las rpm del motor. Efectúe las anotaciones respectivas, es decir, voltaje generado y corriente de carga. Tenga en cuenta no sobrepasar nunca la capacidad del motor y del generador.
- Al término de las lecturas comience a disminuir la carga gradualmente controlando las rpm del motor.

- Saque el generador de línea y lleve el reóstato de excitación del mismo a resistencia máxima.
- Lleve a posición de mínima resistencia el reóstato de excitación del motor y desenergícelo.
- Desconecte el banco de pruebas.
- De acuerdo a los datos tomados proceda a la elaboración de la tabla respectiva y elabore la curva V_T vs I_L .

Cuestionario

- ¿Cómo se forma el voltaje en un generador de cc con excitación independiente en conexión shunt?
- ¿Cómo afecta la reacción de inducido la tensión de salida de un generador de cc con excitación independiente con excitación shunt?
- Explique como se puede variar el voltaje generado en un generador de cc con excitación independiente.
- Explique que sucede en el generador de cc con excitación independiente, conexión shunt cuando se incrementa la carga.
- Analizar las gráficas resultantes y emitir conclusiones.

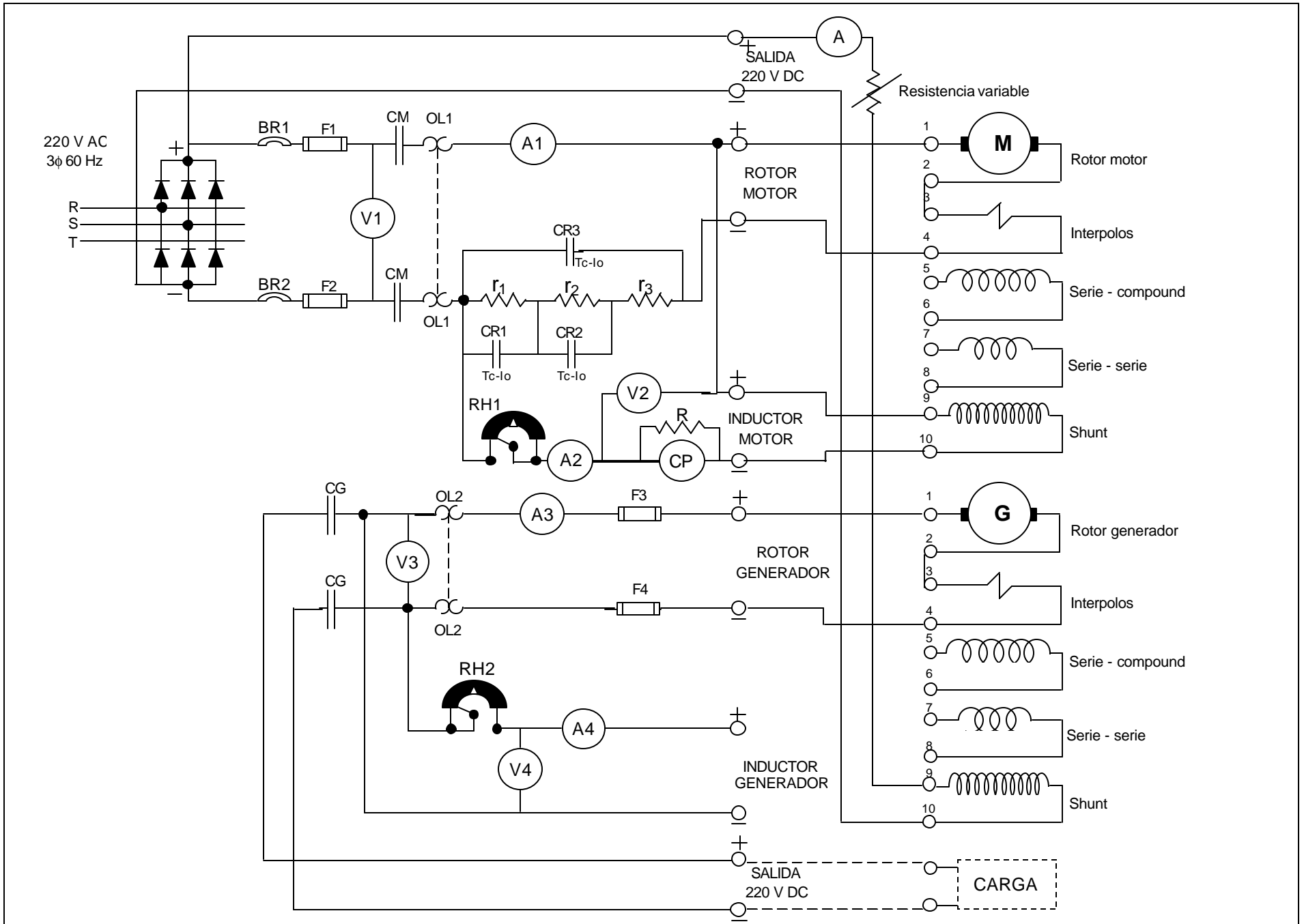


Figura 40. Diagrama de conexión laboratorio 9

5.2.10 Comportamiento del generador de cc autoexcitado en conexión shunt

Objetivo

Observar y determinar experimentalmente el comportamiento DC conectado en shunt.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios
- Banco de resistencias variables o bancada de lámparas incandescentes.

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo referente al generador de corriente continua en conexión shunt.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- No realice ningún tipo de conexiones con el banco energizado.

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conecte el generador en shunt de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía (Figura 41).
- Conectar el motor en shunt según el diagrama de conexiones de esta guía (Figura 41).
- Verifique que los reóstatos de campo de motor y generador estén en posición de mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Verifique que el interruptor S esté en posición OFF.
- Energice el banco de pruebas, arranque el motor y espere su ciclo de arranque.
- Excite el generador hasta que el voltaje en sus terminales sea 220 V DC y llévelo a velocidad nominal.
- Meta en línea al generador una carga de 600 W y en estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.
- Retire completamente la carga y deje el grupo trabajando a velocidad nominal y al generador en sus terminales con 220 V.
- Comience a incrementar la carga en pasos de 200 W hasta 1200 W manteniendo constante las rpm del motor. Efectúe las anotaciones respectivas, es decir, voltaje generado y corriente de carga. Tenga en cuenta no sobrepasar nunca la capacidad del motor y del generador.

- Al término de las lecturas comience a disminuir la carga gradualmente controlando las rpm del motor.
- Saque el generador de línea y lleve el reóstato de excitación a posición máxima.
- Lleve el reóstato de excitación del motor a posición mínima y desenergice el motor.
- Desconecte el banco de pruebas
- De acuerdo a los datos tomados proceda a la elaboración de la tabla respectiva y elabore la curva V_T vs I_L .

Cuestionario

- ¿Que condiciones se deben cumplir para que un generador conectado en shunt comience a generar?
- ¿Porqué se dice que un generador shunt es autoprotegido contra cortocircuito?
- ¿Que condiciones se necesitan para el cebado de un generador de cc shunt?
- Enumere algunas aplicaciones del generador shunt.
- ¿En que influye el sentido de giro de un generador shunt para su cebado?
- Analizar el comportamiento del generador shunt de acuerdo a la curva resultante y obtenga sus propias conclusiones.

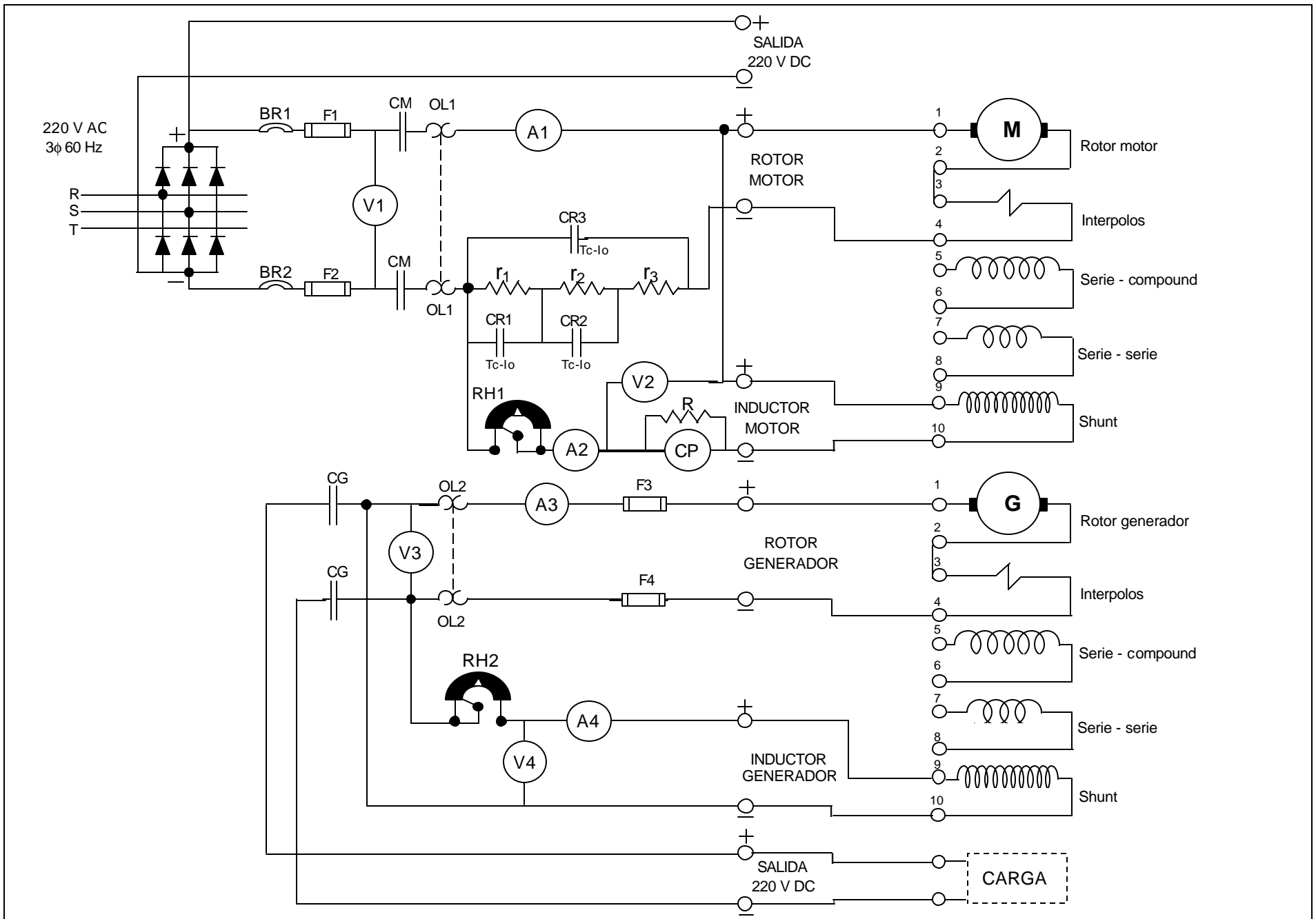


Figura 41. Diagrama de conexión laboratorio 10

Objetivo

Observar y determinar experimentalmente el comportamiento del generador de corriente continua conectado en serie.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo referente al generador de corriente continua en conexión serie.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Verifique que el banco de pruebas esté desenergizado
- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.

- Conecte el generador en serie de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía (Figura 42).
- Conectar el motor en shunt según el diagrama de conexiones de esta guía (Figura 42).
- Verifique que el reóstato de campo del motor esté en posición de mínima resistencia.
- Verifique que el interruptor S esté en posición OFF.
- Energice el banco de pruebas, arranque el motor, espere su ciclo de arranque y llévelo a velocidad nominal.
- Meta en línea al generador con una carga de 600 W y en estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.
- Retire completamente la carga y manteniendo constante las rpm del grupo comience a incrementar la carga en pasos de 200 W hasta 1200 W. Efectúe las anotaciones respectivas, es decir, voltaje generado y corriente de carga. Tenga en cuenta no sobrepasar nunca la capacidad del motor y del generador.
- Al término de las lecturas comience a disminuir la carga gradualmente controlando las rpm del motor.
- Saque el generador de línea.
- Lleve el reóstato de campo del motor a posición de mínima resistencia y apague el motor.

- De acuerdo a los datos tomados proceda a la elaboración de la tabla respectiva y elabore la curva V_T vs I_L .

Cuestionario

- ¿Que voltaje es desarrollado en un generador serie sin carga y porqué?
- ¿Que condiciones se necesitan para el cebado de un generador de cc serie?
- ¿Cómo se obtiene la característica en vacío en un generador serie?
- Enumere algunas aplicaciones de los generadores de cc serie.
- Analizar el comportamiento del generador serie de acuerdo a la curva resultante y obtenga sus propias conclusiones.

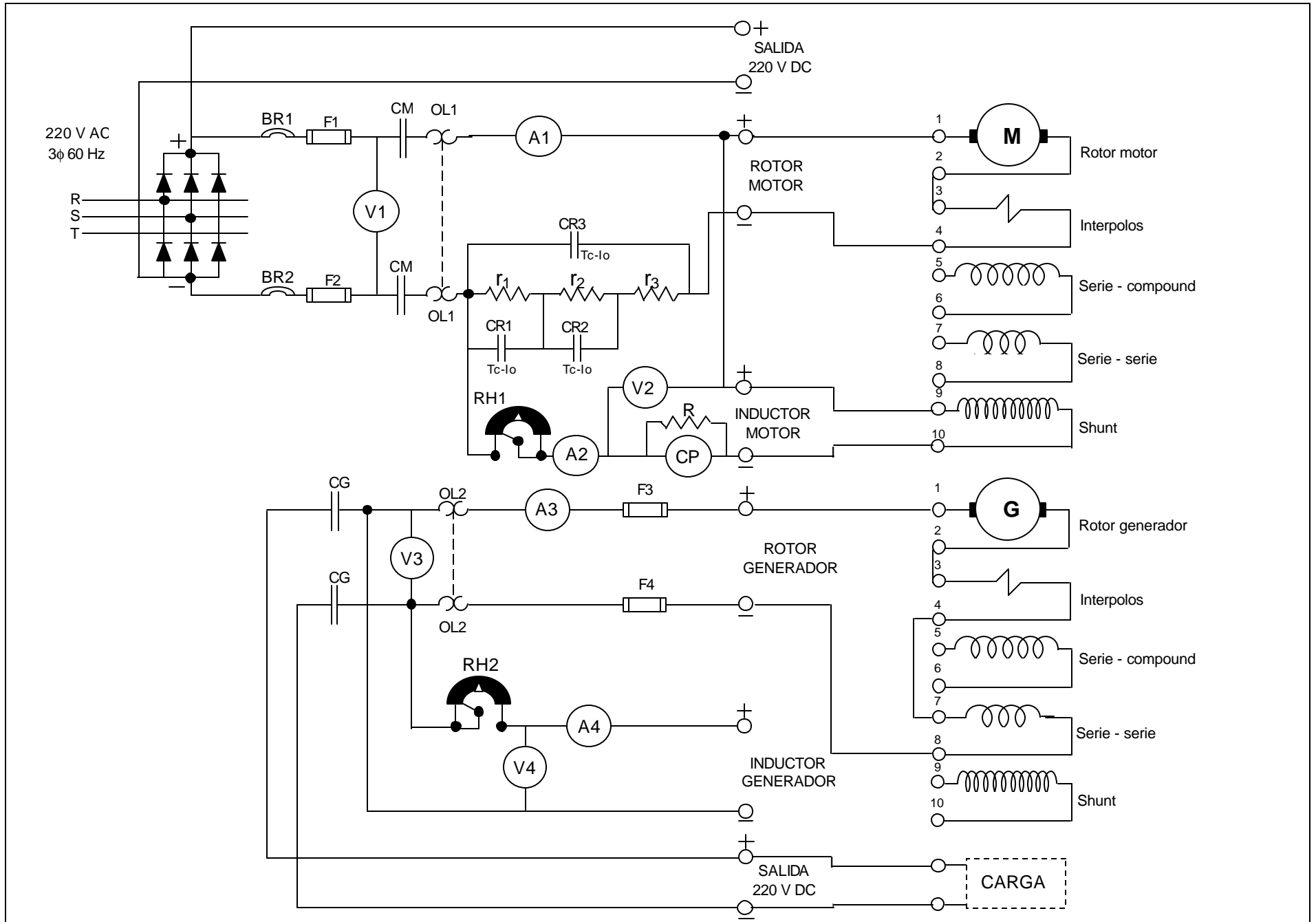


Figura 42. Diagrama de conexión laboratorio 11

5.2.12 Comportamiento del generador de cc compound aditivo y sus diferentes grados de composición

Objetivo

Observar y determinar experimentalmente el comportamiento del generador de cc compound aditivo y sus diferentes grados de composición.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo referente al generador de corriente continua en conexión compound aditiva.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Verificar que el banco de pruebas esté desenergizado.

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conectar el motor en shunt y el generador en compound largo aditivo, utilizando el devanado serie compound (bornes 5 y 6), de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía (Figura 44).
- Verificar que los reóstatos de campo de motor y generador estén en posición de mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Verifique que el interruptor S esté en posición OFF.
- Energizar el banco de pruebas, arrancar el motor y espere su ciclo de arranque.
- Incremente la excitación en el generador hasta que el voltaje en sus terminales sea el nominal (220 V DC) y llevarlo a velocidad nominal.
- Coloque en línea al generador una carga de 600 W y en estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.
- Retire completamente la carga y deje el grupo trabajando a velocidad nominal y al generador en sus terminales con 220 V.
- Manteniendo los rpm del conjunto constante, incremente la carga cada 200 W hasta 1200 W asegurándose de realizar las anotaciones respectivas (Voltaje generado y corriente de carga).
- Después de haber alcanzado la máxima carga (1200 W) disminuir la carga gradualmente, teniendo el cuidado de mantener las rpm constantes.

- Disminuya la excitación del generador y sáquelo de línea. Luego disminuya las rpm del motor y desenergícelo.
- Conectar el generador en compound largo aditivo, utilizando el devanado serie-serie (bornes 7 y 8), de acuerdo al diagrama de conexiones de esta guía (Figura 43). Repita el procedimiento.
- Realice una tabla con los datos tomados de Voltaje generado y Corriente de carga para cada una de las conexiones anteriores.
- Elabore las curvas de voltaje generado vs corriente de carga de acuerdo a los datos tabulados en el paso anterior.

Observación:

- Esta práctica puede realizarse utilizando una resistencia desviadora en paralelo con el devanado serie.
- Se deja como ejercicio propuesto la verificación del comportamiento del generador compound corto aditivo.

Cuestionario

- Explique el significado de los siguientes términos: compound largo aditivo, compound corto aditivo, hipercompound, compound normal e hipocompound.
- ¿Cómo puede variarse el grado de composición de un generador compound?
- ¿Que es la resistencia desviadora?

- ¿Que ventajas tiene el generador compound sobre el generador shunt?
- ¿Enumere algunas aplicaciones de los generadores compound?
- De acuerdo a las gráficas obtenidas para cada tipo de generador compound ¿qué puede concluir?.

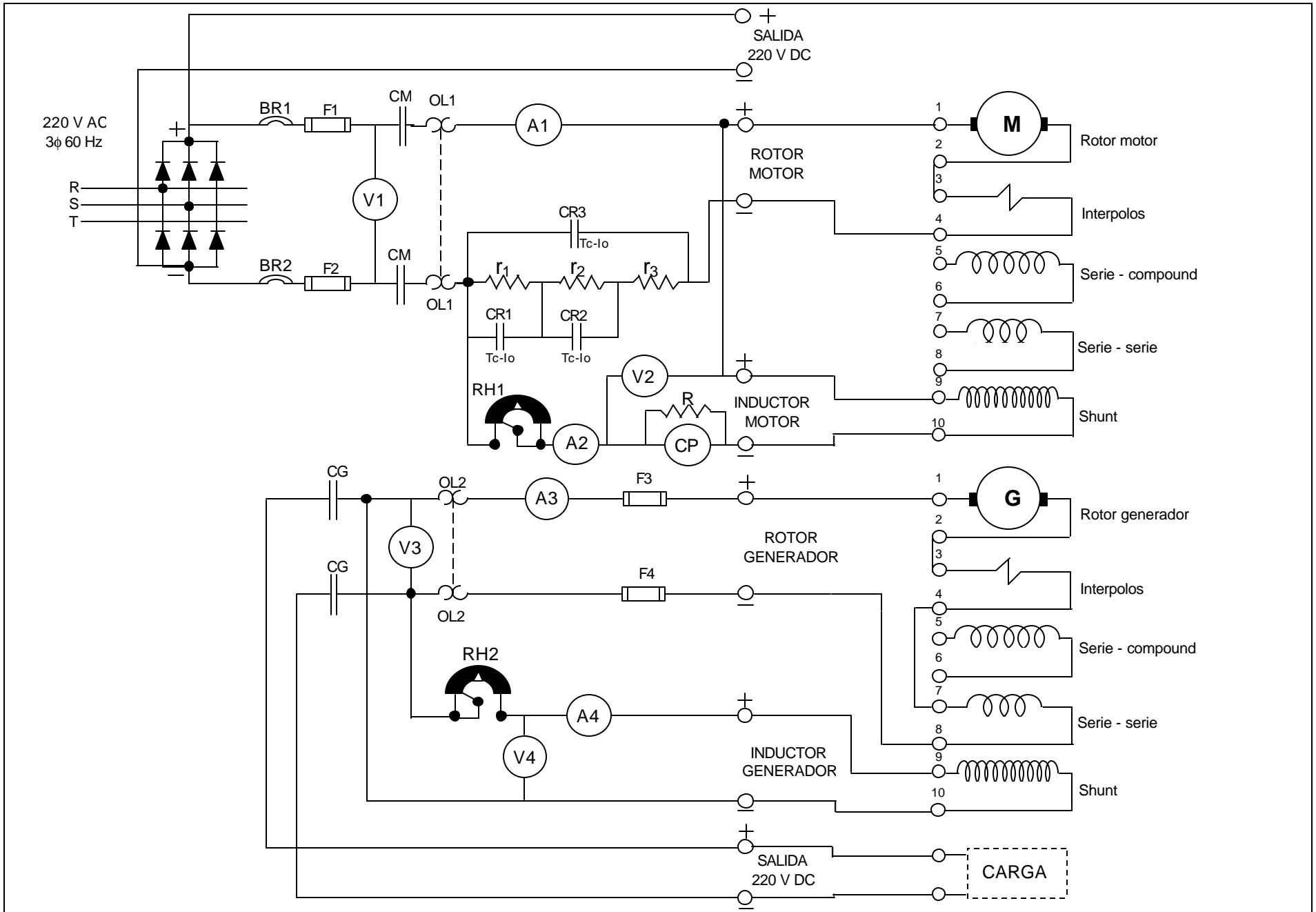


Figura 43. Diagrama de conexión laboratorio 12

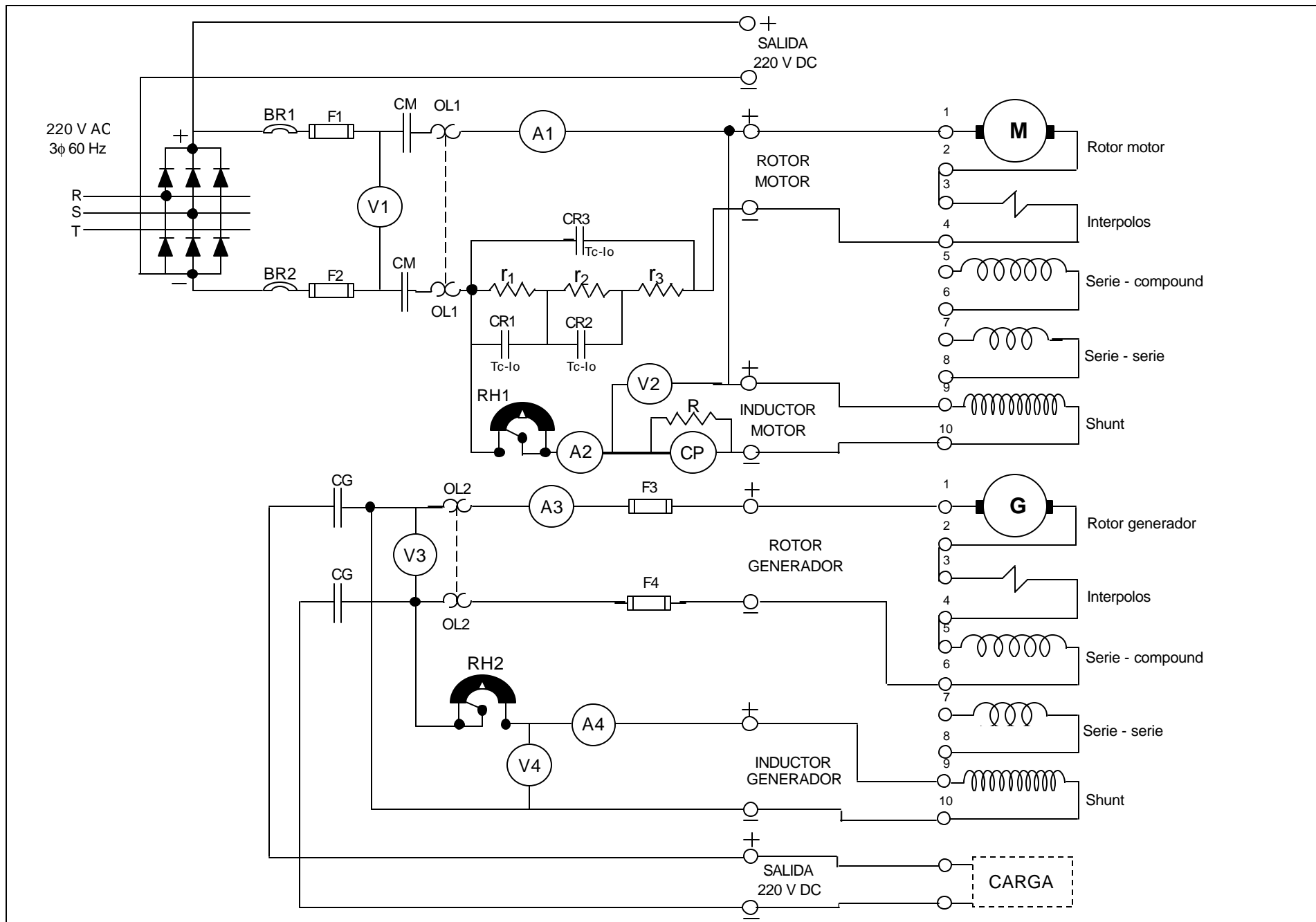


Figura 44. Diagrama de conexiones laboratorio 12

5.2.13 Comportamiento del generador de cc compound diferencial

Objetivo

Observar y determinar experimentalmente el comportamiento de un generador de cc compound diferencial.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas.

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo referente al generador de corriente continua en conexión compound aditiva.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento

- Verificar que el banco de pruebas esté desenergizado.

- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Conectar el motor en shunt y el generador en compound largo diferencial, utilizando el devanado serie para compound (bornes 5 y 6) como se muestra en el diagrama de conexiones de esta guía (Figura 45).
- Verificar que los reóstatos de campo de motor y generador estén en posición de mínima y máxima resistencia respectivamente.
- Verifique que el interruptor S esté en posición OFF.
- Energice el banco de pruebas, arranque el motor y espere que cumpla su ciclo de arranque
- Incrementar la excitación en el generador hasta que el voltaje en sus terminales sea el nominal (220 V DC) y lleve el conjunto a velocidad nominal.
- Meta en línea al generador con una carga de 600 W y en estas condiciones deje el grupo trabajando por unos 10 minutos para que sus bobinas inductoras tengan tiempo de calentarse.
- Retire completamente la carga y deje el grupo trabajando a velocidad nominal y al generador en sus terminales con 220 V.
- Manteniendo las rpm del conjunto constante, incremente la carga cada 200 W hasta 1200 W asegurándose de realizar las anotaciones respectivas (Voltaje generado y corriente de carga).
- Después de haber alcanzado la máxima carga (1200 W) disminuir la carga gradualmente, teniendo el cuidado de mantener las rpm constantes.

- Disminuya la excitación del generador y sáquelo de línea. Luego disminuya los rpm del motor y desenergícelo.
- De acuerdo a las lecturas anotadas elabore las curva de voltaje generado vs corriente de carga.

Observación:

- Se deja como ejercicio propuesto verificar el comportamiento del generador compound corto diferencial.

Cuestionario

- Explique el porqué del término compound diferencial.
- ¿Porqué la característica terminal del generador compound diferencial baja drásticamente con el aumento de la carga?
- Mencione algunas aplicaciones de los generadores compound diferenciales.
- De acuerdo a la curva obtenida analice y emita sus propias conclusiones.

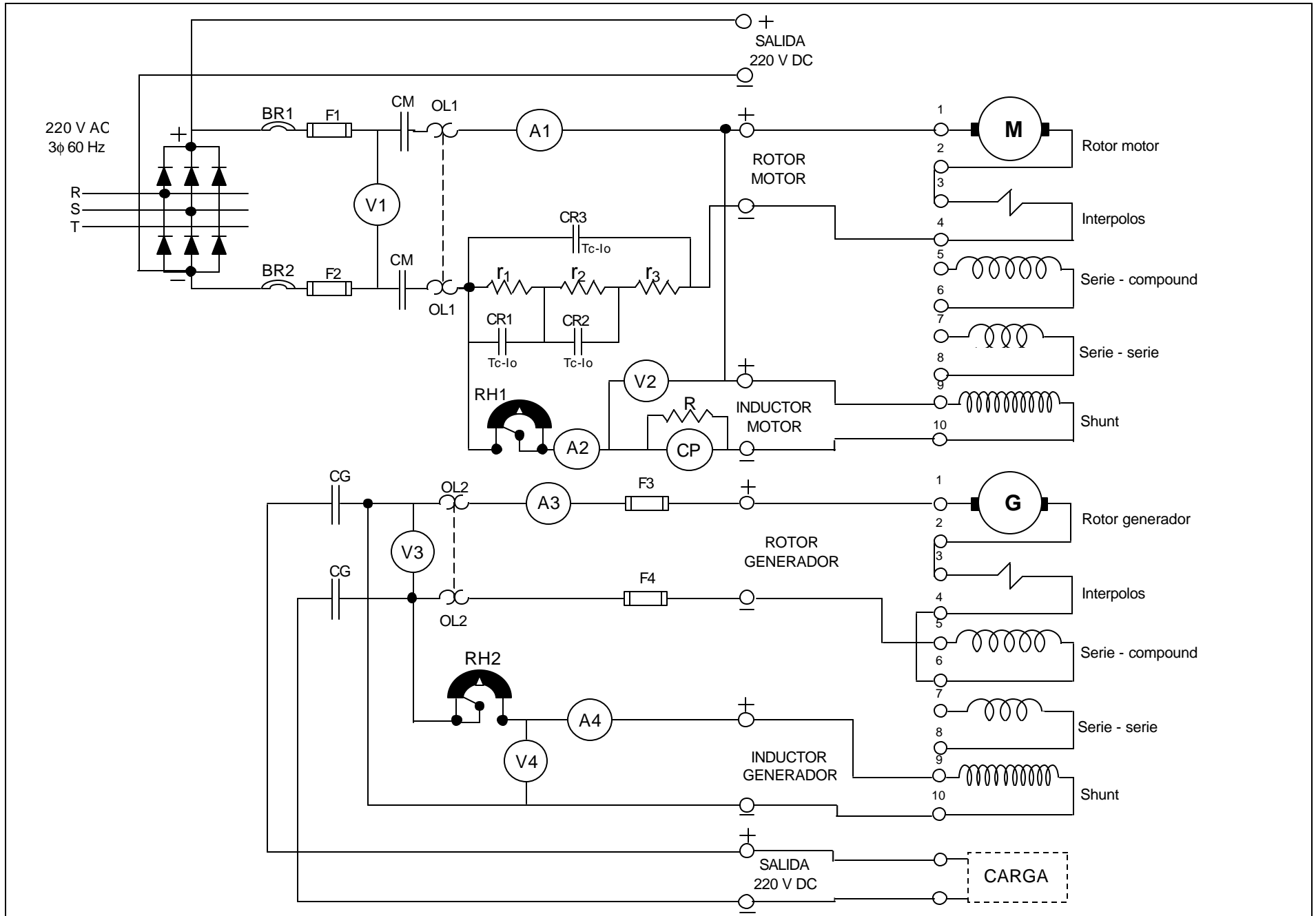


Figura 45. Diagrama de conexiones laboratorio 13

5.2.14 Pérdidas de potencia y rendimiento de una máquina de corriente continua

Objetivo

Determinar las pérdidas de potencia y eficiencia de una máquina de corriente continua en conexión shunt.

Centro de desarrollo

Esta práctica debe ser realizada en las instalaciones del laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Tiempo de desarrollo

Dos (2) horas.

Equipo necesario

- Banco de pruebas del grupo motor-generator de corriente continua.
- Cables y terminales necesarios.
- Fuente variable de corriente continua.

- Amperímetro de corriente continua.
- Pieza para prueba de rotor bloqueado (incluida en el banco de pruebas)

Fundamentación teórica

Antes de realizar esta experiencia, el estudiante debe investigar previamente todo lo referente a las pérdidas y eficiencia de una máquina de corriente continua.

Fuentes de consulta

- DAWES, Chester. Tratado de electricidad. Tomo I, Corriente continua. Gustavo Gili S.A.
- CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill.
- KOSOW, Irving. Máquinas eléctricas y transformadores. Prentice Hall.
- Anexo B. Plan de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de los bancos de pruebas (motor generador DC – motores monofásicos) del laboratorio de ingeniería eléctrica.

Procedimiento.

Observación.

Con el único propósito, de que el grupo motor – generador no sea desacoplado y evitar problemas posteriores por desalineación, se va a considerar las pérdidas del núcleo y mecánicas (perdidas rotacionales en vacío) del motor shunt en conjunto, con la del generador y tacogenerador. El estudiante debe entender que en condiciones reales esta prueba debe hacerse con el motor completamente en vacío, es decir, sin tener carga acoplada a su eje.

- Verifique que el banco de pruebas esté desenergizado.
- Medir la resistencia de aislamiento a tierra de todos los devanados de ambas máquinas y anote los resultados en el plan de mantenimiento predictivo.
- Verifique que el reóstato de campo del motor esté en posición mínima.
- Conecte al banco de pruebas únicamente el campo shunt del motor a los bornes correspondientes (inductor motor).
- Energice el banco y tome lectura de la corriente de campo del motor (amperímetro 2). Por ley de ohm calcule el valor de resistencia del circuito de campo de todo el conjunto, es decir, banco de pruebas más el campo shunt del motor. Esto se hace para que las pérdidas por el circuito de campo del banco de pruebas estén incluidas en el cálculo.

- Utilizando la pieza de rotor bloqueado perteneciente al banco de pruebas (ver figura 46), y con el campo shunt energizado (a través del banco de pruebas), aplique una tensión de corriente continua, con la fuente variable de corriente continua, al devanado del inducido en serie con los interpolos hasta que la corriente que circule por la armadura tenga el valor nominal del motor (ver figura 47). De esta manera habrá calculado la resistencia de la armadura e interpolos y se determinan las pérdidas por caída de voltaje en las escobillas.

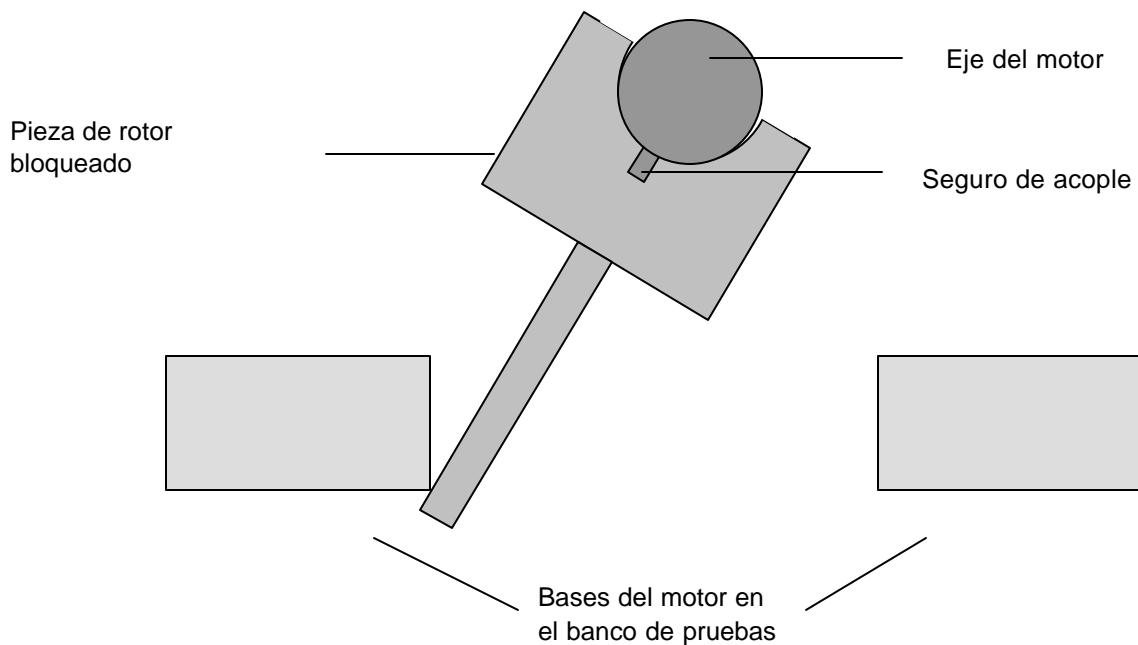


Figura 46. Forma de colocar la pieza de rotor bloqueado en el eje del motor.

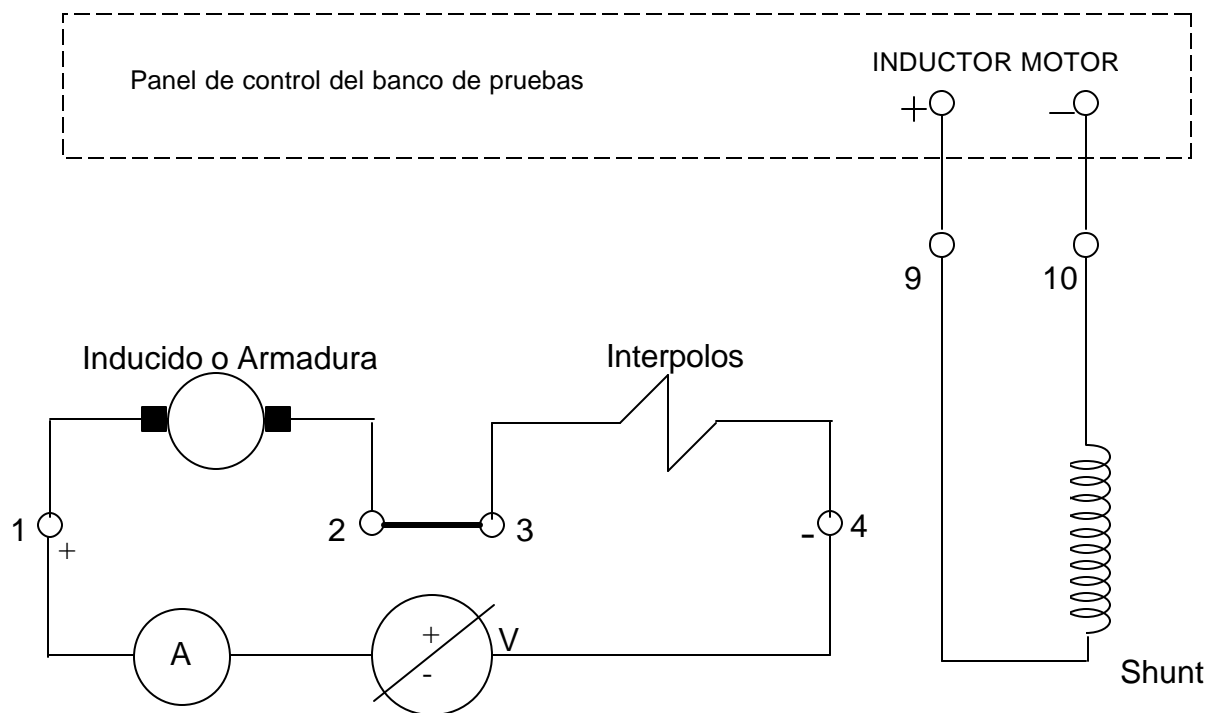


Figura 47. Esquema de conexión para prueba de rotor bloqueado.

- Desenergice el banco de pruebas y retire la pieza para bloquear el rotor.
- Conecte el motor shunt al banco de pruebas según el diagrama de conexión de esta guía (Figura 48). Observe que se inserta en serie con el inducido un amperímetro de escala máxima de 0 a 5 A (debe estar cortocircuitado en el momento de arranque del motor), para obtener una medida más precisa de la corriente de armadura del motor en vacío.
- Energice el banco de pruebas.
- Encienda el motor y espere su ciclo de arranque. El generador no debe tener ninguna clase de conexión.

- Una vez que el motor esté girando en vacío, tome lectura de voltaje en los terminales del motor (Voltímetro 1), corriente de armadura y corriente de campo.
- Apague el motor y desenergice el banco de pruebas.

Cálculos

Una vez tomados los datos especificados en el procedimiento, se puede proceder a calcular las pérdidas y la eficiencia del motor shunt en el banco de pruebas.

Pérdidas del cobre y caída e voltaje en las escobillas.

Calcule el valor de la resistencia de inducido e interpólos con los datos obtenidos en la prueba de rotor bloqueado.

$R_i = V_i / I_i$, por lo tanto, las pérdidas en el inducido son $P_i = I_i^2 \times R_i$. Este valor de potencia ya incluye la caída de voltaje en las escobillas

Donde

V_i es el voltaje de la fuente variable con el rotor bloqueado e I_i el valor de la corriente circulante por el devanado de inducido (con el rotor bloqueado).

Las pérdidas del circuito de campo se calculan análogamente, es decir, $R_F = V_F/I_F$, por lo que las pérdidas en el circuito de campo son $P_F = I_F^2 \times R_F$.

Donde

V_F y I_F son los valores de voltaje y corriente del voltímetro 2 y amperímetro 2 del circuito de campo del banco de pruebas respectivamente.

Nota:

Si la caída de voltaje en las escobillas se tratan por separado, las pérdidas estarían dadas por $P_{esc} = V_{BD} \times I_A$. Generalmente el valor (V_{BD}) es de 1 a 2 voltios.

Pérdidas en núcleo y pérdidas mecánicas

Estas pérdidas también denominadas rotacionales en vacío, se calculan de la siguiente forma. (Los datos implicados a continuación son los tomados con el grupo-motor generador de corriente continua en funcionamiento. Recuerde la observación expuesta anteriormente).

La potencia absorbida total por el motor es $VI = V(I_i + I_F) = VI_i + VI_F$. Si V es la tensión entre terminales, I , la intensidad de la corriente de la línea, I_i en el inducido e I_F en el inductor, la potencia total absorbida VI , se distribuye como sigue:

$$VI_A + VI_F = VI_F + I_A^2 R_A + P_{NR},$$

es decir,

$$P_{NR} = VI_A - I_A^2 R_A$$

Donde P_{NR} son las pérdidas en el núcleo mas las pérdidas mecánicas.

Pérdidas adicionales.

Las pérdidas adicionales se calculan al 1 % de la potencia absorbida, es decir,

$$P_{adicionales} = 0.01 \times V(I_A + I_F)$$

Cálculo de la eficiencia

La eficiencia de la máquina se calcula mediante la expresión

$$Eficiencia = \frac{Potencia\ absorbida - Pérdidas}{Potencia\ absorbida} \times 100\%$$

$$Eficiencia = \frac{V(I_A + I_F) - (P_{cobre} + P_{NR} + P_{adicional})}{V(I_A + I_F)} \times 100\%$$

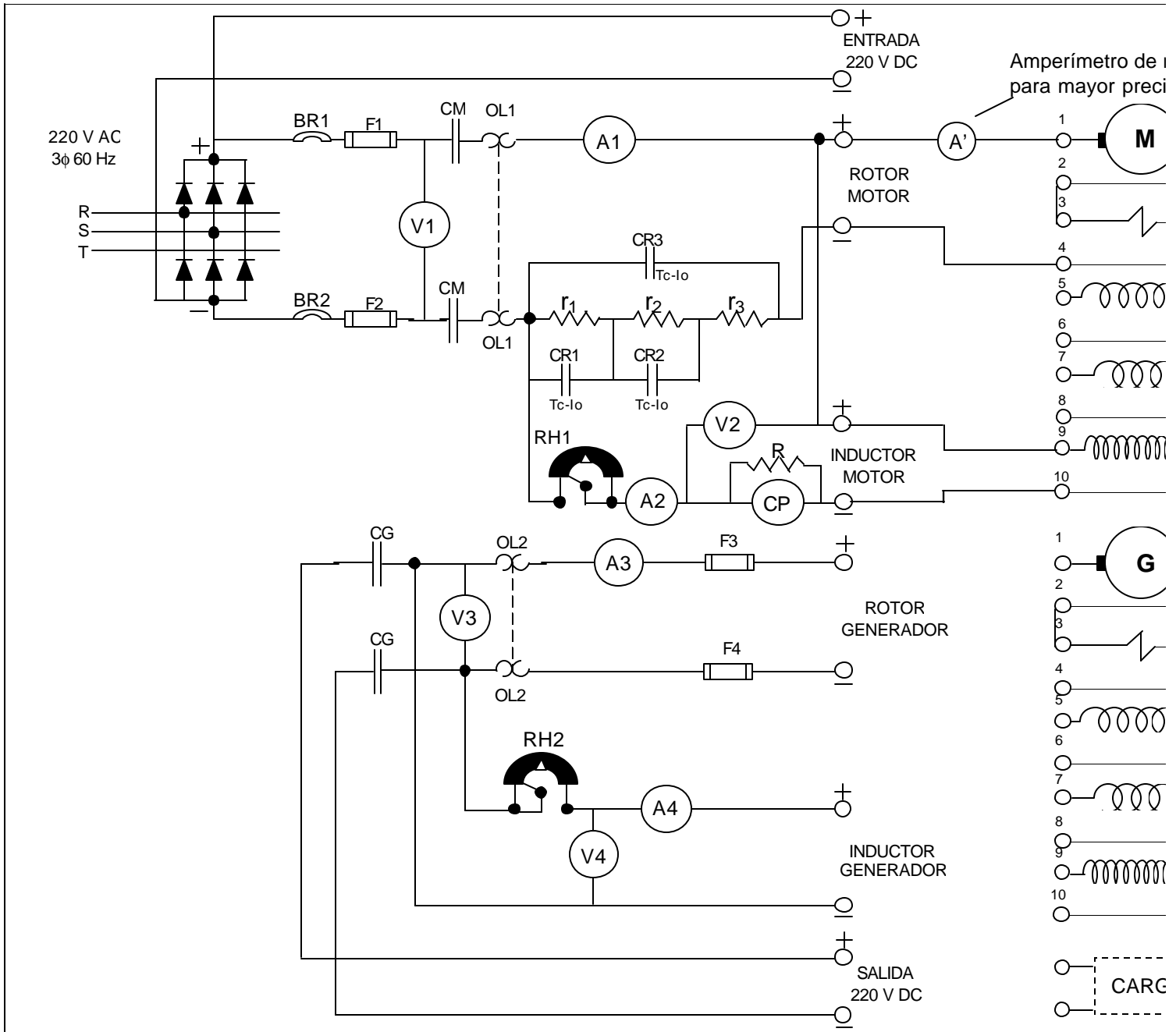


Figura 48. Diagrama de conexión laboratorio 14

Anexo A. Fundamentación teórica para los laboratorios de motores monofásicos

1. CONOCIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS GRUPO MOTORES MONOFASICOS

El banco de pruebas del grupo motores monofásicos del laboratorio de máquinas eléctricas de la CUTB, consta de dos partes principales; el circuito de control y el circuito de potencia.

El circuito de control es aquel que se encarga de que el grupo de motores monofásicos funcione correctamente de acuerdo a como está diseñado. Todo circuito de control debe tener como requisitos:

- En este caso particular, que el grupo de motores monofásicos funcione según las condiciones requeridas
- Ser seguro aún en caso de fallos.
- Ofrecer continuidad de servicio
- Tener el menor número de elementos
- Ofrecer facilidad para revisión y reparación.

El circuito de potencia está constituido por las máquinas o elementos que van a ser gobernados por el circuito de control.

En el circuito de control y potencia del banco de pruebas, CF, CC, CE, CU1, CU2 y CT, son los contactores utilizados para dar orden de arranque y parada a cada uno de los motores del banco independientemente. CR es un relevo que se utiliza conjuntamente con TR1 (contactor temporizado on delay) para desconectar el devanado de arranque del motor de fase partida una vez que este haya arrancado. BR1, BR2 y BR3 son breakers utilizados como medio de conexión y desconexión del banco de pruebas. F1 es un fusible de protección para el circuito de control y Los fusibles F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, y F10 se utilizan como medio protección contra cortocircuito en los motores.

Los pulsadores P1 y P2 son respectivamente el arranque y parada del motor de fase partida, P3 y P4 del motor de fase partida con condensador permanente, P5 y P6 del motor con espiras de sombra, P7 y P8 del motor universal, y P9 y P10 del motor trifásico trabajando como monofásico.

El proceso de arranque del motor monofásico de fase partida comienza al energizar el contactor CF, es decir, al presionar P1 (pulsador de marcha verde). El contactor CF a su vez energiza el temporizador TR1, por lo que éste comienza su periodo de temporización. Una salida instantánea normalmente

abierta de TR1 enciende un señal luminosa (L5) que indica que TR1 está energizado.

Desde el momento de dar orden de arranque al motor (a través de CF), el devanado de arranque del motor está conectado, ya sea con el condensador en serie, ó solamente el devanado mismo. Esta selección se hace a través del interruptor SW1. Una vez terminado el proceso de temporización de TR1, sus salidas cambian de estado, es decir, la normalmente abierta energiza a CR y por lo tanto desconecta el circuito de arranque, quedando solamente energizado el devanado de marcha del motor. La señal visual L6, indica el instante en que el devanado de arranque está energizado, es decir se enciende al estar el devanado conectado y se apaga al desconectarse. Para apagar el motor se debe presionar el pulsador de parada (rojo).

Análogamente para arrancar el resto de los motores, se presionan los respectivos pulsadores de marcha (verde) y para dar orden de parada se presionan los respectivos pulsadores de parada (rojo).

El motor de fase partida con condesador permanente, se energiza a través del contactor CC, el motor con espiras de sombra, se energiza a través de CE y el motor trifásico se energiza a través de CT. Para el motor universal, se debe primeramente escoger con que tipo de corriente se desea trabajar, es decir, corriente alterna o corriente continua. Esta selección se realiza por medio de un

selector, y se energiza en corriente alterna a través de CU1 o con corriente continua a través de CU2.

En el banco de pruebas, tanto en el tablero de control como en el plano eléctrico del circuito de control y de potencia existen señales visuales que muestran el estado de encendido o apagado de los elementos componentes del banco y los motores.

El banco consta también de instrumentos de medición como son voltímetros y amperímetros dispuestos de tal forma que se pueda realizar seguimiento de voltaje y corriente en los motores. Es importante tener en cuenta que no se debe energizar mas de un motor a la vez.

La medición de velocidad de cada uno de los motores se hace a través de un tacómetro análogo, para el cual se hizo necesario la utilización de un dispositivo electrónico.

En el panel de control del banco de pruebas cuenta con borneras que se utilizan para realizar las diferentes conexiones de los motores pertenecientes al banco. Además existen ya conectados internamente los condensadores que se utilizan para el motor de fase partida, motor con condensador permanente y del motor trifásico conectado como monofásico.

2. MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA

Como es de saber los motores monofásicos normalmente se construyen para bajas potencias, es decir, para unos pocos H.P por lo tanto, no requieren de un sofisticado circuito para ponerlos a funcionar, basta solamente conectarlos a la red directamente por medio de un guarda motor o un interruptor común.

Los motores monofásicos de fase auxiliar o devanado de arranque requieren solamente de un interruptor centrífugo que desenergice este devanado cuando el motor, en su arranque alcance el 75% de su velocidad nominal.

Este banco de pruebas se dispuso de tal manera que el devanado auxiliar o de arranque se desconecte por medio de un contactor temporizado que sale de servicio inmediatamente después que el motor arranque.

En el momento de arranque, en este tipo de motor, su corriente es variante dependiendo de su tipo (condensador, doble condensador, resistencia) ya que el factor de potencia varia según estas circunstancias, por lo tanto, cambia su consumo de energía reactiva y activa en ese instante. El principio de funcionamiento es algo complejo y este lo podemos explicar recordándola teoría de los campos transversales, esto es que tan pronto empieza a moverse nace un campo giratorio creado por la acción combinadas de las fuerzas magnetomotrices del estator y rotor. En los conductores del rotor se induce una tensión de

movimiento, debido a que cortan el flujo producido en el estator. Esta tensión se aumenta progresivamente al aumentar la velocidad y motiva la circulación de una corriente por los conductores del rotor frente a los polos del estator, estas corrientes crean un flujo alterno desplazado 90 grados con respecto al flujo creado en el estator. Con esta acción combinada de los dos flujos, se consigue el campo giratorio semejante la de los motores monofásicos.

Los motores eléctricos monofásicos para efectos de la inversión del giro son muy comunes ya que ellos vienen diseñados para cumplir una función específica dentro de determinado proceso de producción, solamente para casos muy particulares en la que este se requiera es que se hace esta modificación. Por ejemplo, taladros pequeñas prensas, etc.

Para efectos de realizar estas prácticas se dispuso de los motores de una forma tal que sea posible la inversión del giro extrayendo del bobinado los puntos que sean necesarios para tal caso.

2.1 Motor monofásico de fase partida

Este motor no es capaz de arrancar por sí solo, una forma de esto es energizando el devanado de marcha y dándole un torque hacia la derecha y luego hacia la izquierda, sin permutar ninguna conexión el motor gira en los dos sentidos. Por tal razón para cambios de sentidos de giro de este tipo de motor, es mas

recomendable cambiarlo en el devanado auxiliar o de arranque que en la marcha. El devanado auxiliar es el que le da el torque de arranque y es éste el que debe permutarse para obtener los dos sentidos de giro (ver figura 49).

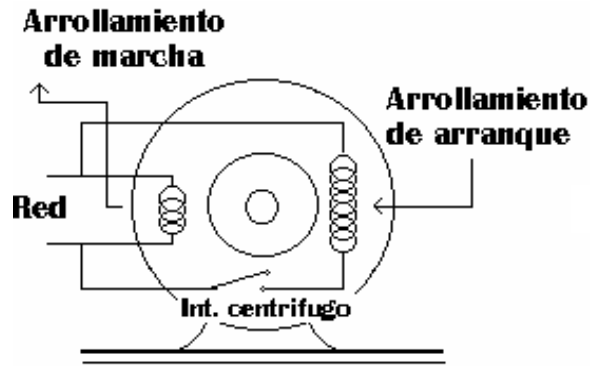


Figura 49. Motor de fase partida arrancado sin condensador.

En la figura 50, se observa un motor de fase partida con un condensador en serie con el devanado auxiliar, cuyo fin es aumentar el torque en el momento de arranque del motor.

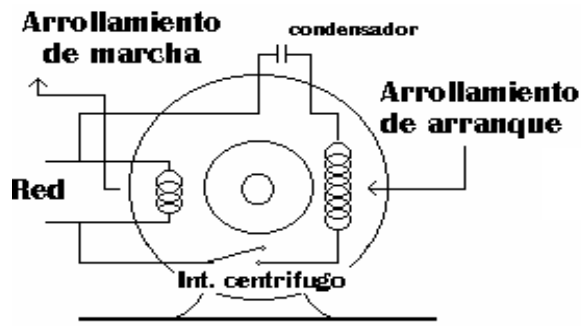


Figura 50. Motor de fase partida arrancando con condensador.

En la figura 51, se observa el esquema de conexión para la inversión de giro.

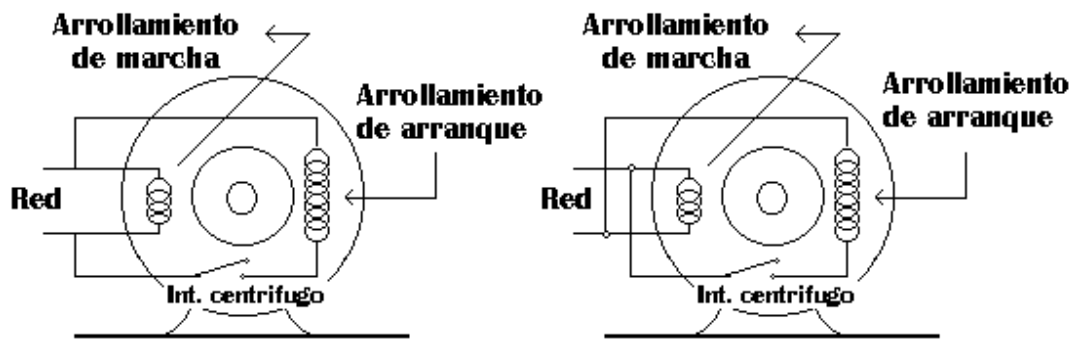


Figura 51. Inversión del giro del motor de fase partida

Existen otro tipo de motores que trabajan con un condensador de arranque y de régimen a la vez. Estos motores se caracterizan por su marcha suave y silenciosa. Son similares a los motores con condensador en el arranque, con la única diferencia de que el arrollamiento de arranque y el condensador quedan conectados permanentemente al circuito.

2.2 Regulación de la velocidad

El motor monofásico de fase partida a condiciones normales que se presentan para cambiar el numero de revoluciones son: Cambiar el numero de polos, manteniendo la tensión de la red ó variando la frecuencia de la misma; otra forma será insertando resistencias en el circuito estático o en su defecto disminuyendo el nivel de la tensión en la red. Hay algunos motores que se le pueden variar la velocidad por medio de un transformador reductor.

2.3 Cálculos

Estas son las formulas para hacer cálculos para obtener los parámetros equivalentes. Asumir $K_2 = 1.05$

Donde :

V_1 = Tensión de servicio

P_o = Potencia de consumo en vacío

I_o = Amperaje en vacío

r_1 = Resistencia del devanado de marcha en vacío

V_i = Tensión de servicio

P_L = Potencia de consumo

I_L = Corriente de consumo

Valor de impedancias mutuas.

$$X_M = V_1 / I_o = K_2 / (2K_2^2 - 1) \quad (1)$$

Valor de la impedancia total

$$Z_L = V_L / I_L \quad (2)$$

Valor de la resistencia total en cortocircuito

$$R_L = P_L / I_L^2 \quad (3)$$

De los valores anteriores podemos obtener el valor de la reactancia

$$X_L = \sqrt{(Z_L)^2 - (R_L)^2} \quad (4)$$

La obtención de la reactancia de estator y rotor cumplen con la siguiente expresión:

$$X_1 = 2X_2 = X_L / 2 \quad (5)$$

Con los valores de X_M y X_2 podemos comprobar el valor supuesto de K_2 de la siguiente forma:

$$K_2 = 1 + (X_2/X_M) \quad (6)$$

Si este valor no es similar al supuesto, repetir los cálculos con el valor K_2 calculado.

La resistencia r_2 del rotor esta dada por la siguiente expresión :

$$r_2 = (R_L - r_1) K_2^2 / 2 \quad (7)$$

De esta manera se obtienen los cinco parámetros de las pruebas en vacío y de rotor frenado.

El cálculo de las pérdidas del cobre en el estator son:

$$P_{Cu1} = r_1 (I_o)^2 \quad (8)$$

En la prueba de rotor frenado, se obtuvieron los valores de resistencia r_1 y r_2 y en vacío se obtuvo un valor. Se puede decir que la resistencia en vacío del rotor cumple con la siguiente expresión:

$$r_{2 \text{ (vacío)}} = r_2 (r_{1 \text{ (vacío)}} / r_{1 \text{ (frenado)}}) \quad (9)$$

Como la corriente del motor en vacío es casi igual a la corriente del motor sin carga, podemos decir que las pérdidas del rotor en vacío son :

$$P_{\text{CU2}} = r_{2 \text{ (vacío)}} * (I_0)^2 \quad (10)$$

Las pérdidas en el hierro son :

$$P_T = P_O - (P_{\text{VENT}} + P_{\text{CU1}} + P_{\text{CU2}}) \quad (11)$$

Como las pérdidas en el hierro en los motores monofásicos, es decir, pérdidas de rotación mas pérdidas ocasionadas por el flujo principal, son casi idénticas en las variaciones entre vacío y plena carga. Podemos decir, que las pérdidas ocasionadas por el flujo principal son la mitad de la totalidad de ellas aproximadamente. Esta pérdida es la que determina el valor r_m , por lo tanto podemos simplificar así.

$$E_1 = V_1 - I_0 * X_1 \quad (12)$$

$$C = X_M / \sqrt{((r_{2 \text{ (VACIO)}}/2)^2 + (X_2)^2)} \quad (13)$$

$$E_2 = E_1(C/(C+1)) \quad (14)$$

Donde C = constante de relación en flujos alternos

Ya obtenidos estos valores, con las siguientes ecuaciones podemos obtener los siguientes datos:

$$G_m = (P_T/2) / E_2^2 \quad (15)$$

$$r_M = G_M * X_m^2 \quad (16)$$

Donde G_M = admitancia del flujo magnetizante.

3. MOTOR UNIVERSAL

Otro de los motores monofásicos de singular importancia y utilización es el motor universal llamado así por que puede funcionar indistintamente con corriente continua o con corriente alterna en ambos casos las curvas características siguen siendo las mismas, notando que la relación de tensión alterna y continua debe ser la mitad. Los criterios de funcionamiento de este tipo de motor es que si se le aplica tensión a sus terminales circulara una corriente de excitación tanto por el inducido como por la excitación. Esta excitación produce un flujo que actuando

sobre la corriente que circula por el inducido, crea un par puesto que la corriente y el flujo se invierten simultáneamente. En vacío estos motores pueden llegar a tener velocidades peligrosas por tal motivo debe evitarse que el motor funcione sin carga. En la figura 52 se observa el esquema del motor universal y la forma de invertir el sentido de giro.

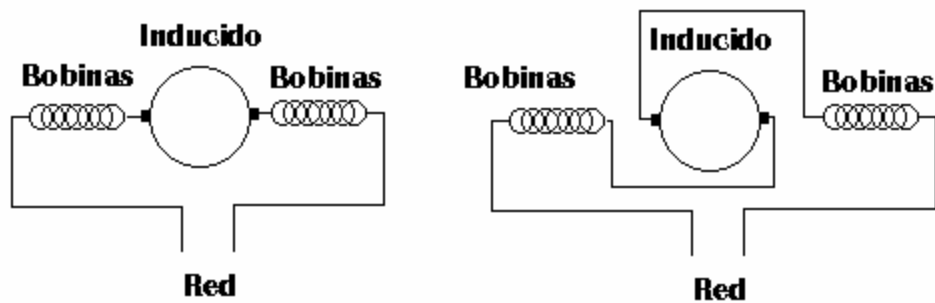


Figura 52. Esquema e inversión de giro del motor universal

El motor universal está dispuesto de tal manera que cuando por los devanados del inducido y del inductor circula una corriente, se forman dos flujos magnéticos que al reaccionar provocan el giro del rotor, tanto sí la corriente es continua como alterna.

3.1 Característica serie

El numero de revoluciones baja fuertemente al aumentar la carga, y viceversa, de modo que cuando esta desaparece (en vacío) puede alcanzar una velocidad

peligrosa (se embala). Por tal motivo debe evitarse que el motor funcione sin carga.

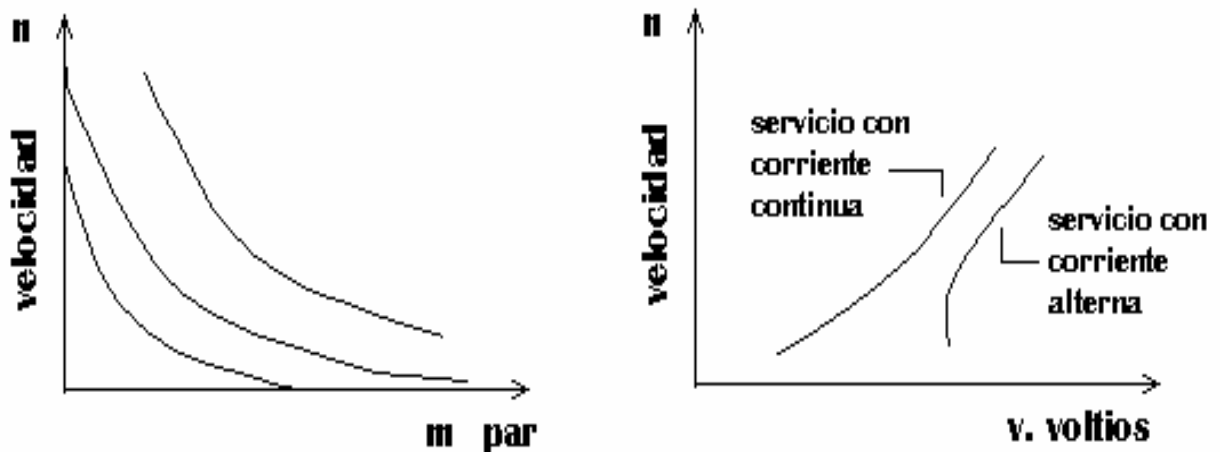


Figura 53. Comportamiento serie del motor universal

En la figura 53 se muestra las características par-velocidad de un motor universal para diferentes tensiones de servicio.

El motor universal es un motor tipo serie de gran par de arranque y velocidad variable. Con carga constante y alimentación por corriente continua, el número de revoluciones y la potencia aumentan casi proporcionalmente con la tensión aplicada. Si la alimentación es por corriente alterna, esta proporcionalidad se cumple a partir de más de 3000 r.p.m; por debajo de dicha velocidad, el número de revoluciones y la posición bajan en proporción muy superior al descenso de la tensión aplicada, es decir es un motor muy sensible a las fluctuaciones de la tensión.

Para este motor la inversión del sentido de giro se consigue invirtiendo el sentido de la corriente en el inducido o bien en las bobinas inductivas. Por lo general los motores universales se construyen para girar en un solo sentido y por lo regular el porta escobillas es fijo.

3.2 Regulación de la velocidad:

Al motor universal, se le aplicaran escalones de resistencia al circuito y se eliminara el numero de revoluciones por minuto.

4. MOTOR TRIFÁSICO CONECTADO COMO MONOFÁSICO Y MOTOR ESPIRAS DE SOMBRA.

Los motores monofásicos de espira de sombra o polos blindados, su funcionamiento es similar al de devanado auxiliar sólo que su devanado auxiliar o de arranque lo forra un anillo de cobre envolviendo una parte de cada polo, su devanado está formado por una sola bobina conectada a su red. Durante el arranque los polos principales inducen en los anillos de cobre una corriente que a su vez produce un campo magnético desfasado con respecto al de los polos principales. Los dos campos crean al combinarse un par giratorio que hace girar al rotor. Una vez se haya acelerado le motor lo suficiente el efecto de las espiras de sombra desaparece.

Estos motores por lo regular están limitados para un solo sentido de giro ya sea derecho o izquierdo de acuerdo al sentido de disponibilidad de las espiras de sombra, lo que quiere decir que para lograr la inversión en el sentido de giro se tendrá que desmontar los escudos, invirtiendo el estator y volver a montar el conjunto.

Un caso especial es la inclusión del motor trifásico como motor monofásico disponiendo pues de una serie de conexiones que hacen posible que este opere de tal manera.

La potencia es del 10 al 20% inferior a la correspondiente al del motor trifásico. Contando con una alimentación a 220 V, la capacidad de condensador de servicio es de unos 70 μF por kw. El condensador se dimensionará para una tensión de 1.25 veces superiores al de la red. El par de arranque es de 40 al 50% del par nominal correspondiente al servicio como motor trifásico.

Existen diversas posibilidades de conexión; o bien se unen dos bornes del motor directamente a la red, mientras que el tercero lo esta a través de un condensador, o bien se intercala dicho condensador en una de las fases del motor, separada de las demás.

El par de arranque es del 40 al 50% del par nominal correspondiente al servicio como motor trifásico.

La inversión en el sentido de giro se consigue conectando el condensador en el otro borne de la red o en otra fase del motor de la misma manera como se conecto en la primera practica. Esta conexión tiene la particularidad que el motor trabaja como monofásico con condensador permanente utilizando dos devanados del motor trifásico como devanado auxiliar y el devanado restante como devanado de marcha, al conectar el condensador y colocarlo en otro borne de la red se invertirían los papeles, ya que el devanado que era de marcha pasaría a ser el de arranque.

Anexo B. Fundamentación teórica para los laboratorios del grupo-motor de corriente continua

1. ENSAYOS PRELIMINARES PARA EL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.

Antes de conectar cualquier tipo de máquina por primera vez o después de que ha sido sometida a reparación o mantenimiento, se deben realizar algunos ensayos preliminares para verificar si la máquina está en condiciones de ser puesta en funcionamiento, sin ningún tipo de riesgo para la máquina o los operarios.

1.1 Identificación de bornes de conexión del motor dc

La máquina de corriente continua que presenta mayor número de bornes de conexión es el motor de cc de excitación compuesta ya que viene diseñada con los siguientes devanados o arrollamientos:

Arrollamiento de inducido. Localizado en el rotor y conectado al colector o conmutador al tablero de bornes a través de las escobillas. En este devanado se genera la F.e.m. en el caso del generador y en el caso del motor es el devanado por donde circula la corriente de carga que da lugar al par del motor.

Devanado de excitación shunt. Localizado en el estator, encima y alrededor de núcleo polar de los polos principales. Este devanado es el encargado, al energizarse, de producir la F.m.m que origina el campo magnético principal. También se le denomina devanado en derivación o paralelo. Está diseñado para una corriente pequeña, alrededor del 5% de la nominal del inducido ó menos y con un gran número de vueltas. Su sección es pequeña comparada con la de los demás devanados, por lo tanto, presenta el valor mas alto de resistencia óhmica.

Devanado de excitación serie. Localizado en el estator, encima y alrededor del núcleo polar de los polos principales y como único devanado si se trata de un motor serie, o junto con el devanado shunt, uno al lado del otro, si se trata de un motor compuesto o compound. Este devanado al energizarse se encarga de producir el campo principal, si se trata de un motor serie, o de producir un campo que actúa sobre el campo creado por el devanado shunt para adicionarlo o debilitarlo, según se trate de un motor compuesto acumulativo o diferencial respectivamente.

Devanado auxiliar o interpolar. Localizado en el estator, encima y alrededor del núcleo polar de los polos auxiliares o interpolos, también denominados polos de conmutación. Este devanado, igual que el devanado serie, está diseñado para una corriente igual a la del inducido, ya que eléctricamente, estos devanados se conectan en serie con el arrollamiento del inducido. Su función es la de crear un campo proporcional al campo creado por la corriente de inducido y de tal sentido

que contrarreste el efecto de este campo, es decir, el denominado efecto de reacción de inducido.

Observación.

Las máquinas de corriente continua pertenecientes al grupo motor-generator del banco de pruebas de la CUTB presentan dos devanados serie. Uno denominado serie para serie y otro denominado serie para compound. Estos se utilizan para obtener las características terminales del motor serie y el motor compound y así mismo para el caso del generador

1.2 Resistencia óhmica de los devanados

La determinación de la resistencia óhmica de los devanados en una máquina de corriente continua es de importancia pues estos valores se requieren para los cálculos de F.e.m ó F.c.e.m de par electromagnético, de corriente de arranque en caso de motores, de reóstatos de regulación, de rendimiento etc. Esta se determina por el método de corriente continua o con un puente de alta precisión.

1.3 Comprobación y medición de la resistencia de aislamiento a tierra.

Aún cuando se utilice un buen material aislante para aislar circuitos eléctricos y estos se monten con el mayor cuidado, siempre se presentará una muy pequeña

corriente de fuga entre los elementos que se aíslan, la cual a su vez será mayor entre mayor sea la tensión entre ellos. El valor de la resistencia de aislamiento debe tener teóricamente un valor infinito, pero como se explicó anteriormente siempre se presentará una corriente de fuga. Se considera que si esta corriente no es mayor de un miliamperio (1 mA), su efecto no produce peligro para la instalación o elementos conductores. Si la corriente de fuga admisible no puede ser mayor de 1 mA, para considerar que la resistencia de aislamiento a tierra es satisfactoria, significa que dicha resistencia no puede ser inferior a 1000 ohmios por voltio de tensión de servicio ($1K\Omega / \text{Voltio}$). Algunas normas prescriben para el caso de máquinas eléctricas, que el valor de resistencia de aislamiento debe ser igual o mayor al obtenido mediante la aplicación de la siguiente formula empírica sin que en ningún caso sea menor de $1 M\Omega$.

$$\text{resistencia de aislamiento a tierra} = \frac{\text{Tensión de servicio}}{\text{Potencia en KVA} + 1000} \quad (1)$$

Por ejemplo para un motor de 30 KW y una tensión de 440 V, la resistencia de aislamiento a tierra debe ser mayor o igual a

$$R_{ais} = \frac{440}{30 + 1000} = 0.42 M\Omega$$

Luego, se debe tomar para este caso como valor admisible $R_{ais} = 1 M\Omega$

A nivel industrial, los sistemas de protección de motores eléctricos, no permiten que éstos trabajen con valores de resistencia de aislamiento a tierra del orden de $1\text{ M}\Omega$, ya que los motores podrían trabajar a temperaturas superiores a la normal que disminuiría su vida útil. Por lo anterior es muy normal observar que la resistencia de aislamiento a tierra para motores industriales es superior a los $100\text{ M}\Omega$. Es importante destacar que en motores eléctricos que no se utilizan por largos periodos de tiempo, sus devanados absorben mucha humedad del medio ambiente (dependiendo de la zona geográfica) y por consiguiente pierden valor de resistencia de aislamiento a tierra. En la Industria se utilizan algunos métodos para evitar que los motores bajen su resistencia de aislamiento a tierra. El método utilizado consiste en mantener los motores con temperatura y se logra colocando resistencias de calefacción al motor o haciendo circular corriente en su devanado de campo cuando están apagados.

La medición de la resistencia de aislamiento a tierra se realiza utilizando un megger o megóhmetro de lectura directa o utilizando una fuente de corriente continua y un voltímetro de bobina móvil de alta resistencia interna.

De utilizarse el segundo método, es importante tener la siguiente observación. Al conectar la fuente de corriente continua debe tenerse la precaución de conectar el polo positivo de la fuente a tierra, ya que la falta de aislamiento debido a la humedad puede no ser detectada, en razón a que la corriente producida al aplicar

la tensión, ocasiona una disociación de agua en oxígeno e hidrógeno. Si el elemento que tiene el defecto se conecta al polo positivo (+), se produce oxígeno que oxida el material conductor apareciendo entonces una resistencia de aislamiento mayor que la real, por el contrario si el elemento se conecta al polo negativo, se produce allí hidrógeno el cual actúa como reductor, obteniéndose una resistencia de aislamiento menor y por tanto el posible defecto será detectado.

1.4 Determinación de la zona neutra geométrica

Cuando un elemento del arrollamiento del inducido pasa por la zona de conmutación, es puesto en corto circuito a través de las delgas y de las escobillas. Si el elemento que es puesto en corto circuito, por posición del portaescobillas, es un elemento que queda localizado en una zona donde el campo magnético tiene un valor apreciable, se induce en él una tensión, que es puesta en corto a través de las escobillas y las delgas. Se origina entonces una corriente circulante en el elemento y a la cual se opone únicamente la resistencia óhmica del elemento, la resistencia de las delgas, la resistencia de las escobillas (las cuales tienen un valor muy bajo) y la resistencia de contacto entre las escobillas y las delgas, quizás la de más alto valor. Esta corriente puede tomar valores superiores a la corriente nominal produciéndose además una conmutación anormal, con producción de chispas en el colector que lo pueden deteriorar totalmente y puede quemar el arrollamiento del inducido. De ahí la importancia, antes de conectar la máquina, de verificar si el portaescobillas está localizado en la posición correcta.

2. CONOCIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS DEL GRUPO MOTOR GENERADOR

El banco de pruebas del grupo motor – generador de cc del laboratorio de máquinas eléctricas de la CUTB, consta de dos partes principales; el circuito de control y el circuito de potencia.

El circuito de control es aquel que se encarga de que el grupo motor - generador funcione correctamente de acuerdo como está diseñado. Todo circuito de control debe tener como requisitos:

- En este caso particular, que el grupo motor – generador funcione según las condiciones requeridas
- Ser seguro aún en caso de fallos.
- Ofrecer continuidad de servicio
- Tener el menor número de elementos
- Ofrecer facilidad para revisión y reparación.

El circuito de potencia está constituido por las máquinas o elementos que van a ser gobernados por el circuito de control.

En el circuito de control y potencia del banco de pruebas, BR1, BR2, BR3 y BR4 son breakers utilizados como medio de desconexión, pero BR3 y BR4 a la vez son utilizados como protección para el motor. Los fusibles F1, F2, F3, F4, F5 y F6 se utilizan como medio protección contra cortocircuito en el banco de pruebas. La protección contra sobrecargas es realizada tanto para el motor como para el generador por los relés de sobrecarga OL1 y OL2 respectivamente, los cuales al actuar desenergizan los contactores CM en el caso del motor y CG en el caso del generador.

Los pulsadores P1 y P2 son respectivamente la parada y el arranque del motor DC y al pulsar P2 se da inicio al arranque automático por resistencias del mismo. El proceso de arranque del motor comienza al energizar el contactor CM, el cual a su vez energiza el temporizador TR1 comenzando éste su periodo de temporización. Una vez terminado el proceso de temporización de TR1, sus salidas cambian de estado, es decir, la normalmente abierta energiza a CR1 que cortocircuita el primer paso de resistencia (en el circuito de potencia) y a su vez energiza a TR2 (en el circuito de control). TR2 cumple su periodo de temporización y de igual forma que TR1, a través de CR2 cortocircuita el segundo paso de resistencia (en el circuito de potencia) y energiza a TR3 (en el circuito de control). Al temporizar TR3, éste a través de CR3 cortocircuita todo el reóstato de arranque (en el circuito de potencia) y desenergiza a TR1, TR2, CR1, CR2 Y TR3, quedando solamente energizados CM y CR3. Es importante destacar que el campo del motor es alimentado con 220 V DC en el instante en que BR1 y BR2

son llevados a posición ON, por lo tanto, nunca se deben realizar conexiones con el banco energizado. Utilizando el reóstato de excitación RH1, se puede regular la velocidad del motor, ya que este controla la corriente de campo.

El Motor DC posee una protección de campo que no permite que el motor arranque cuando el campo del mismo no esté conectado y a su vez lo protege de cualquier embalaje en el caso de que una vez que el motor esté funcionando éste quede sin campo. Esta protección consiste en un relé de 12 Voltios cuya bobina de entrada está en paralelo con una resistencia y se alimenta por la caída de tensión que se presenta al circular la corriente de campo. El contacto de salida de esta protección está en serie con el circuito de arranque del motor. Esta protección puede ser desactivada mediante el interruptor S, el cual, al estar en la posición ON permite el arranque del motor cuando está conectado en serie, o en motores compound en derivación corta.

Los pulsadores P3 y P4 son respectivamente utilizados para sacar y meter de línea la carga al generador. Al presionar P4, el contactor CG es energizado y de esta forma sus contactos transmiten toda la energía a la carga. Para sacar la carga de línea del generador se debe presionar P3. El reóstato de excitación RH2 se utiliza para regular la corriente de excitación del generador y por lo tanto el voltaje generado en sus terminales.

En el banco de pruebas, tanto en el tablero de control como en el plano eléctrico existen señales visuales que indican el estado de encendido o apagado del motor y generador y a su vez otras que indican que elementos del banco están energizados o desenergizados.

El pulsador de emergencia, tiene como función desenergizar todas las bobinas de los contactores para que sus respectivas salidas vuelvan a sus estado normal y se debe utilizar en el caso de que exista un comportamiento anormal en el banco de pruebas.

El banco consta también de instrumentos de medición como son voltímetros y amperímetros dispuestos de tal forma que se pueda realizar seguimiento de voltaje y corriente en el rotor del motor (V1 y A1), inductor del motor (V2 y A2), rotor del generador (V3 y A3) y en el inductor del generador (V4 y A4).

Acoplado al eje del grupo motor – generador existe un tacogenerador, el cual dependiendo de la velocidad del eje, genera un voltaje que luego de ser ajustado mediante un reóstato, es enviado a un tacómetro que muestra la medida en unidades de rpm.

3. COMPORTAMIENTO DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL ARRANQUE

Los motores eléctricos de corriente continua, desarrollan una fuerza contraelectromotriz que junto con la resistencia de armadura, regula continuamente la corriente absorbida por la misma. En el momento de arranque, el motor está en reposo y por consiguiente la fuerza contraelectromotriz es nula, es decir, $E_C = 0$ V. En consecuencia la corriente absorbida de la red es limitada únicamente por la resistencia de armadura o inducido.

La corriente de inducido del motor en régimen de marcha viene dado por la expresión

$$I_i = \frac{V - E_C}{R_i} \quad (1)$$

Como se observa en la ecuación (1), la tensión real aplicada a la armadura del motor cuando tiene su velocidad nominal es $V - E_C$. En condiciones de arranque, al aplicar tensión el motor no está girando por lo que E_C tiene un valor igual a cero.

Como R_i es muy baja circulará una corriente muy alta en el inducido (7 u 8 veces y más la corriente nominal) con el riesgo de un exagerado choque mecánico sobre la carga por la brusca aplicación de un par motor demasiado grande, una gran fluctuación de tensión en las líneas de alimentación y posibles daños en la

conmutación. Es posible que el motor sufra daños graves por este tipo de corrientes, incluso si éstas duran solo un momento.

Para hacer frente a este problema se hace necesario limitar la intensidad de corriente en el arranque, esto se logra reduciendo la tensión aplicada o incrementando la resistencia propia del inducido. Esta segunda solución implicaría una pérdida de energía por efecto joule excesiva y continua, por lo que debe desecharse.

La reducción de la tensión aplicada al inducido se obtiene insertando resistencias variables de arranque en serie con el inducido que no deben estar en el circuito de modo permanente, ya que ello podría ocasionar pérdidas excesivas y hacer que la característica momento de torsión-velocidad del motor baje excesivamente con un aumento de la carga. Por lo tanto, se deben insertar resistencias que se eliminen a medida que la fuerza contraelectromotriz aumente en forma proporcional a la velocidad del rotor. El conjunto de resistencias de valor variable utilizadas para este objetivo, se denominan reóstato de arranque.

Este reóstato de arranque, en el caso de los motores de corriente continua suelen estar constituidas por varias resistencias metálicas en serie refrigeradas al aire o en baño de aceite. El número de contactos fijos o plots, del reostatos depende de la potencia del motor y de la suavidad deseada en el arranque.

La variación de la resistencia puede lograrse automáticamente mediante una serie de contactos temporizados que van cortocircuitando escalonadamente las resistencias parciales. Para efectos de esta práctica se usará este último método de arranque. Como se observa en la figura 54, se utilizan tres pasos de resistencia r_1 , r_2 y r_3 .

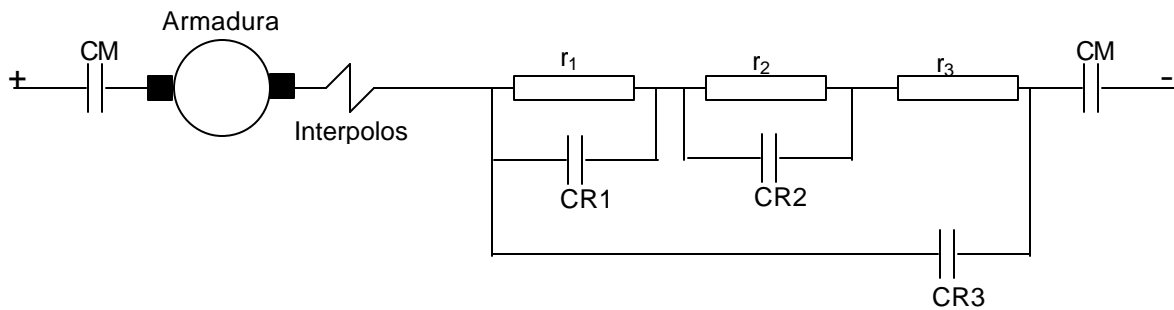


Figura 54. Arranque automático de un motor de corriente continua mediante contactores temporizados

3.1 Cálculo de las resistencias de arranque de cada paso.

Para efectuar este cálculo debemos tener en cuenta:

V : Tensión de la línea.

E_C : Fuerza contraelectromotriz

R_i : Resistencia de inducido, incluyendo conductores, escobillas y devanados de Conmutación.

Z : Constante cuyo valor oscila entre 0.1 – 0.2. $Z = (R_i X I_n) / V_n$

I_p : Corriente de arranque máxima o de puntas. (figura 55)

I_v : Corriente de arranque mínima cuando se produce la conmutación. (figura 55)

y : Relación entre la corriente máxima de arranque y la nominal. I_p / I_n

x : Relación entre la corriente máxima de arranque y la mínima de conmutación.

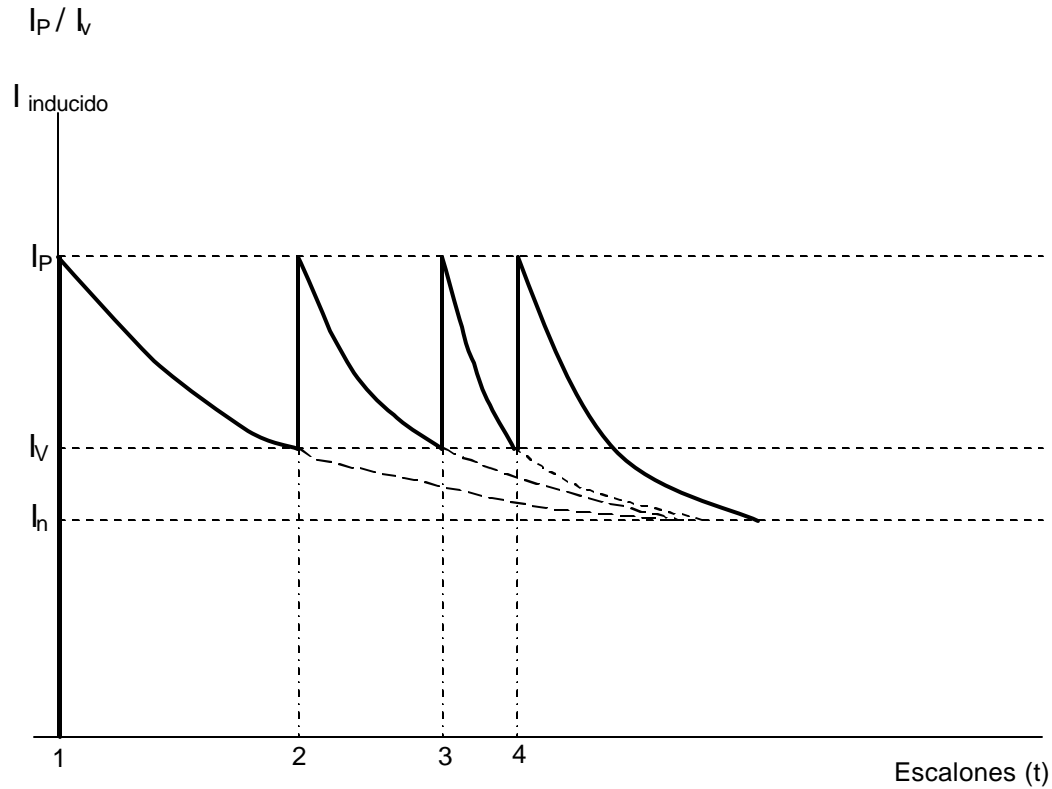


Figura 55. Grafico intensidad vs tiempo durante el proceso de arranque de un motor de corriente continua por resistencias escalonadas.

E_C : Fuerza contraelectromotriz

E_{cn} : F.C.E.M. al final de un periodo de aceleración antes de la desconexión de la resistencia r_n .

R_1 : Resistencia total del circuito de arranque incluyendo la armadura. $R_1 = V / I_p$

R : Resistencia total del reóstato de arranque. $R = R_1 - R_i$

R_N : Resistencia total del circuito con la resistencia aún en el circuito.

r_n : Resistencia de uno de los pasos de la resistencia de arranque.

N : Número de pasos de la resistencia de arranque.

Al aplicar la tensión de línea V a R_1 en el arranque la intensidad será:

$$I_p = \frac{V}{R_1} \quad \text{ó} \quad R_1 = \frac{V}{I_p} \quad (2)$$

El motor se acelerará con esta resistencia R_1 . Cuando la aceleración halla acabado, entre R_1 , la F.C.E.M. E_{c1} y la corriente I_v existirá la siguiente relación.

$$E_{c1} = V - I_v R_1 \quad \text{ó} \quad I_v R_1 = V - E_{c1} \quad (3)$$

Para que la corriente pueda elevarse a I_p tras haber desconectado la resistencia r_1 , se cumplirá la siguiente ecuación:

$$I_p = \frac{V - E_{c1}}{R_2} = \frac{I_v R_1}{R_2} \quad \text{entonces} \quad R_2 = \frac{I_v R_1}{I_p} = \frac{R_1}{x} \quad (4)$$

Seguidamente se produce una aceleración, hasta que la Intensidad se reduzca de nuevo a I_v . Entonces:

$$E_{C2} = V - I_V R_2 \quad \text{ó} \quad V - E_{C2} = I_V R_2 \quad (5)$$

Y tras desconectar r_2

$$I_P = \frac{V - E_{C2}}{R_3} = \frac{I_V R_2}{R_3} \quad \text{entonces} \quad R_3 = \frac{I_V R_2}{I_P} = \frac{R_2}{x} \quad \text{ó} \quad R_3 = \frac{R_1}{x^2} \quad (6)$$

Este proceso continua hasta que toda la resistencia de arranque sea desconectada y sea aplicada toda la tensión de línea al inducido. De estas relaciones se deduce que la resistencia total para cualquier punto de aceleración es :

$$R_n = \frac{R_{n-1}}{x} = R_n = \frac{R_1}{x^{n-1}} \quad (7)$$

Por lo tanto, cuando todos los pasos de resistencia se hallan eliminado se tiene la expresión

$$R_i = \frac{R_1}{x^N} \quad \text{ó} \quad x^N = \frac{R_1}{R_i} = \frac{\frac{V}{I_P}}{\frac{ZV}{I_n}} \quad \text{entonces} \quad x^N = \frac{1}{yZ} \quad (8)$$

De manera que

$$\log x = \frac{\log 1/yZ}{N} \quad \text{ó} \quad N = \frac{\log R_1/R_i}{\log x} = \frac{\log 1/yZ}{\log x} \quad (9)$$

Por lo tanto si $Z = 0.1$, entonces:

$$N = \frac{1 - \log y}{\log x} \quad \text{ó} \quad N = \frac{1 - \log \frac{I_p}{I_n}}{\log \frac{I_p}{I_v}} \quad (10)$$

Nota: La F.C.E.M desarrollada por la armadura de un motor, está usualmente entre el 80% y el 95% del voltaje impreso en las terminales de la armadura, donde se puede suponer que $Z = 0.1$ para una amplia gama de motores y es mayor para motores de potencia fraccionaria.

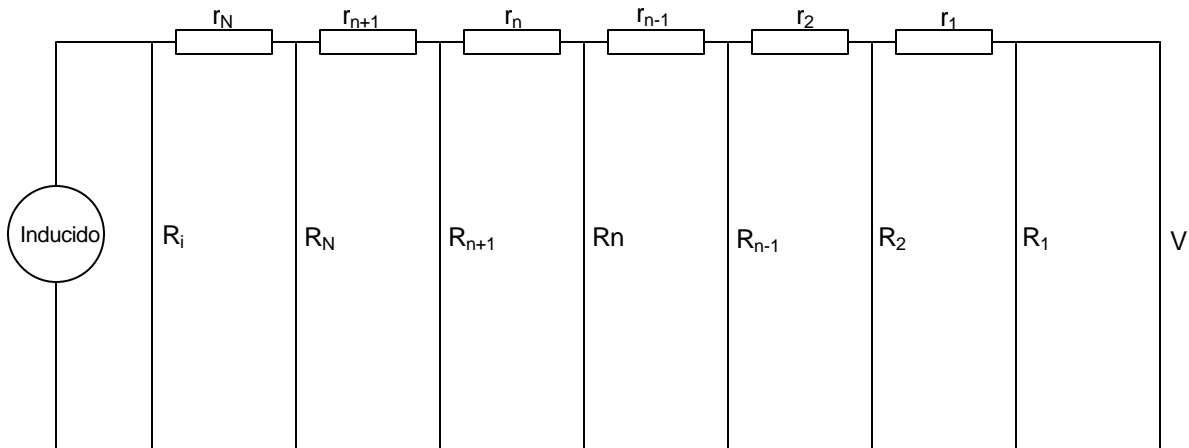


Figura 56. Inducido con reóstato de arranque para un motor de corriente continua

De la figura 56 y de las ecuaciones 7 y 8 se deduce que

$$r_n = R_n - R_{n+1} = R_n - \frac{R_n}{x} = R_n \frac{(x-1)}{x} \quad (11)$$

Por consiguiente

$$r_1 = \frac{R_1(x-1)}{x} \quad (12)$$

La resistencia total de arranque es

$$R = R_1 - R_i \quad (13)$$

4. MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA CON EXCITACIÓN SHUNT

Una característica terminal de una máquina es una gráfica de salida de la máquina vs cada una de las demás. Para un motor, las cantidades de salida son el momento de torsión y la velocidad, por tanto la característica terminal de un motor es una gráfica de momento de torsión vs velocidad.

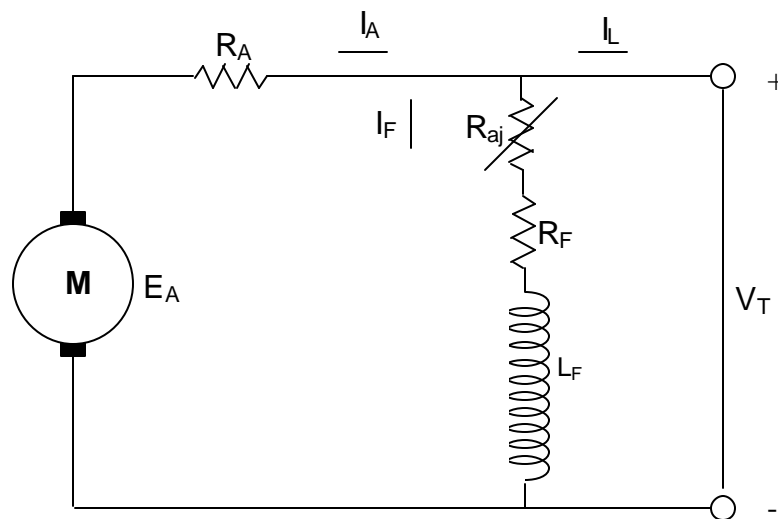


Figura 57. Circuito equivalente de un motor de corriente continua con excitación shunt.

La figura 57, muestra un motor conectado con excitación shunt y del cual se puede efectuar el siguiente análisis

4.1 Característica terminal del motor shunt.

La característica de salida de un motor de cc con excitación shunt puede derivarse del voltaje inducido y las ecuaciones de momento de torsión del motor mas la ley de voltaje de kirchhoff. La ecuación de LVK para un motor shunt es:

$$V_T = E_A + I_A R_A \quad (1)$$

El voltaje inducido $E_A = K\phi\omega$, por tanto

$$V_T = Kf\omega + I_A R_A \quad (2)$$

Puesto que $\tau_{ind} = K\phi I_A$, la corriente I_A puede expresarse como

$$I_A = \frac{\tau_{ind}}{Kf} \quad (3)$$

Al combinar (2) y (3) se obtiene

$$V_T = Kfw + \frac{t_{ind}}{Kf} R_A \quad (4)$$

Finalmente, al resolver para la velocidad del motor se produce

$$w = \frac{V_T}{Kf} + \frac{t_{ind}}{(Kf)^2} R_A \quad (5)$$

Esta ecuación es una línea recta con una pendiente negativa como se observa en la figura 58. Es importante tener en cuenta que para que un motor de cc con excitación shunt varíe su velocidad linealmente con el momento de torsión, los demás términos de la ecuación (5) deben ser constantes mientras la carga varía. El voltaje terminal suministrado por la fuente de potencia de cc se supone constante, si no lo es, entonces las variaciones de voltaje afectarán la forma de la curva momento de torsión vs velocidad.

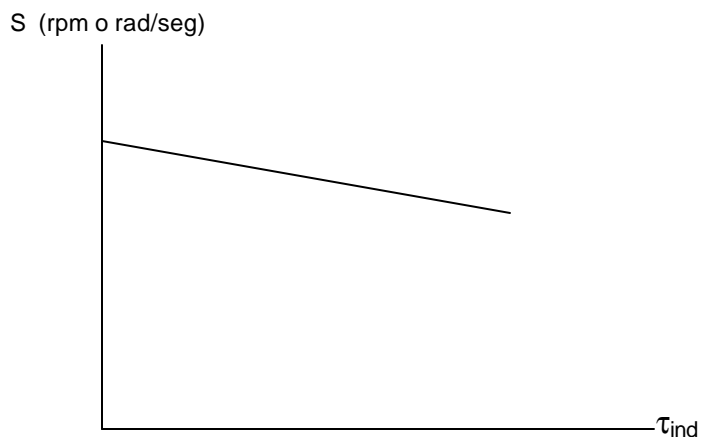


Figura 58. Característica momento de torsión vs velocidad con devanado de compensación

Otro efecto interno del motor que también puede afectar la forma de la curva momento de torsión vs velocidad es la reacción de inducido. Si el motor tiene reacción de inducido, entonces a medida que aumenta su carga los efectos de debilitamiento de flujo reducen su flujo. El efecto de una reducción de flujo es aumentar la velocidad del motor a cualquier carga dada mas allá de la velocidad que tendría sin reacción de inducido. Si el motor tiene embobinados de compensación, por supuesto no habrá problemas de debilitamiento de flujo en la máquina, y el flujo en la misma será constante. La característica momento de torsión vs velocidad de un motor de cc con excitación shunt con reacción de inducido y sin reacción de inducido se observa en la figura 59.

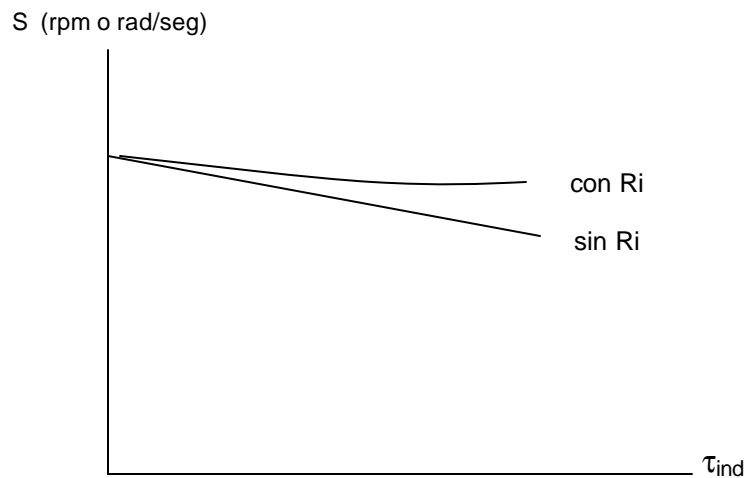


Figura 59. Característica momento de torsión vs velocidad de un motor de corriente continua con excitación shunt con y sin reacción de inducido

4.2 Característica del momento de torsión inducido.

Si en un motor de cc con excitación shunt se aumenta la carga sobre el eje; entonces el momento de torsión de la carga τ_{carga} excederá al momento de torsión inducido τ_{ind} en la máquina, y el motor comenzará a disminuir la marcha. Cuando disminuye la marcha, su voltaje generado, es decir, la fuerza contraelectromotriz disminuye ($E_A = K\phi\omega \downarrow$), y en consecuencia la corriente de inducido en el motor $I_A = (V_T - E_A) / R_A$ aumenta. A medida que se eleva la corriente de inducido, el momento de torsión inducido en el motor aumenta ($\tau_{\text{ind}} = K\phi I_A \uparrow$) y finalmente el momento de torsión inducido igualará al momento de torsión de la carga a una menor velocidad mecánica de rotación ω . Como se mencionó anteriormente, el momento de torsión inducido es $\tau_{\text{ind}} = K\phi I_A$ donde :

ϕ : Flujo magnético

I_A : Corriente de armadura

K : constante de proporcionalidad

Siendo
$$K = \frac{0.1173 \times P \times Z}{10^8 \times A}$$

Donde:

P : Número de polos

Z : Número de conductores

A : Número de pares paralelos

Si se considera que el flujo magnético ϕ ($\tau = K_1 I_A$) permanece constante y si la corriente de armadura aumenta en forma directa con la aplicación de la carga mecánica, la característica de momento de torsión inducido tendría una relación perfectamente lineal. (recta 1 de la figura 60). En la realidad ocurre que cuando la corriente de armadura alcanza un valor considerable, la reacción de inducido crece de tal manera que el flujo magnético resultante ϕ disminuye, por lo que el momento de torsión inducido no aumenta en forma lineal con la corriente de armadura sino de acuerdo a la curva 2 de la figura 60.

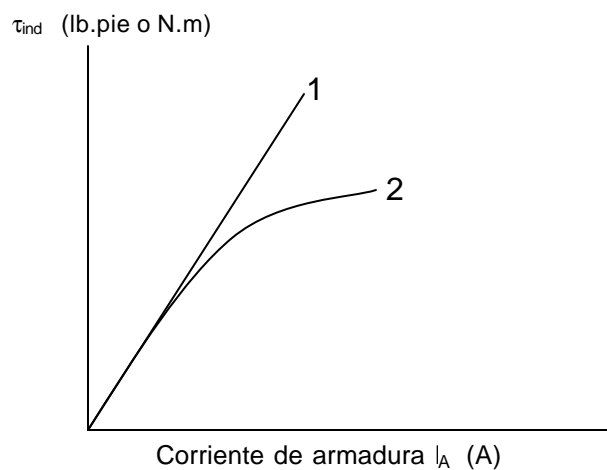


Figura 60. Característica del momento de torsión inducido del motor de corriente continua con excitación shunt

4.3 Característica de velocidad

La ecuación fundamental de la velocidad $S = (V_A - I_A R_A) / K\phi$ es el medio para predecir la forma en que varía la velocidad de los motores de cc cuando se aplica una carga. La expresión gráfica de la ecuación fundamental de la velocidad es la curva 1 de la figura 61. En la realidad el flujo magnético ϕ no es constante sino que varía con la carga debido a la reacción de inducido y es inversamente proporcional a dicha carga por lo tanto, si el incremento de la corriente de carga compensa la disminución del flujo magnético ϕ , la curva característica se convierte en la recta 2 de la figura 61, es decir, que en este caso la velocidad permanece constante cualquiera que sea la carga. Puede ocurrir también que el efecto de la reacción de inducido sea muy fuerte y la velocidad del motor crezca con la corriente de carga, ya que el efecto de la disminución del valor del flujo magnético ϕ debido a la reacción de inducido puede ser mayor que el efecto debido al aumento de la corriente de carga. (curva 3 de la figura 61).

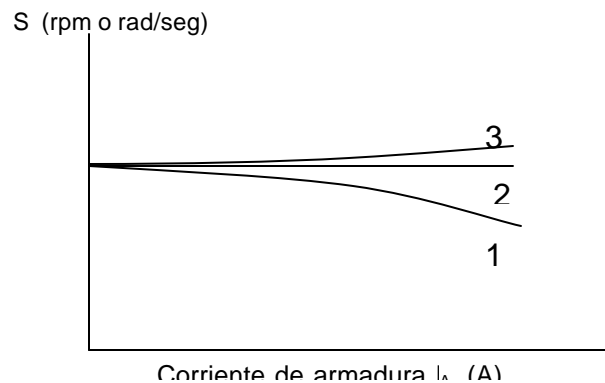


Figura 61. Característica de velocidad del motor de corriente continua con excitación shunt

Como la caída de tensión $I_A R_A$ es muy pequeña en comparación a la tensión en bornes y normalmente llega de un 2 al 8% del valor de V_A , la variación de velocidad también estará en la misma proporción, es decir, que si llamamos S_o a la velocidad en vacío y S a la velocidad a plena carga, se tiene que la regulación de velocidad viene dada por la expresión

$$\% \text{ Regulación} = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100 \quad (6)$$

Debido a que el porcentaje de regulación de los motores de cc con excitación shunt es bajo (2 al 8 %) a estos se les denomina motores de velocidad constante o autorreguladores de velocidad.

4.4 Control de velocidad

Comúnmente para controlar la velocidad de un motor de cc con excitación shunt, se utilizan los siguientes métodos

4.5 Ajuste de la resistencia de campo

Si a un motor de cc con excitación shunt se le aumenta la resistencia de campo, entonces la corriente de campo disminuye ($I_F \downarrow = V_T / R_F \uparrow$) y a medida que ésta decrece, el flujo magnético también se reduce. Una disminución del flujo magnético ocasiona una reducción instantánea de la fuerza contraelectromotriz ($E_A = K\phi \downarrow \omega$) la cual causa un gran incremento de la corriente de armadura de la máquina ya que $I_A = (V_T - E_A \downarrow) / R_A$. Al aumentar I_A El momento de torsión de inducido aumenta en una proporción muy elevada y puesto que $\tau_{ind} > \tau_{carga}$, las velocidades del motor crecen. Sin embargo, a medida que éstas crecen, la fuerza contraelectromotriz se eleva, ocasionando el descenso de I_A . A medida que desciende I_A , el momento de torsión inducido τ_{ind} desciende también y finalmente τ_{ind} otra vez iguala a τ_{carga} a una mayor velocidad de condición estable que la que se tenía originalmente.

4.6 Cambio de voltaje en el inducido.

Para utilizar este método se necesita cambiar el voltaje aplicado al inducido sin cambiar el voltaje aplicado al campo, es decir el motor debe ser excitado externamente para utilizar el control de voltaje inducido.

Si se aumenta el voltaje V_A , entonces la corriente de inducido en el motor debe elevarse [$I_A = (V_T - E_A \downarrow) / R_A$]. A medida que crece I_A , el momento inducido $\tau_{ind} = K\phi I_A \uparrow$ aumenta haciendo que $\tau_{ind} > \tau_{carga}$ y se incrementa la velocidad del

motor. Pero a medida que aumenta la velocidad, la fuerza contraelectromotriz se eleva ocasionando que disminuya la corriente de armadura. Esta disminución de I_A rebaja el momento inducido haciendo que τ_{ind} iguale a τ_{carga} a una mayor velocidad de rotación.

5. COMPORTAMIENTO DEL MOTOR CON EXCITACIÓN SERIE

Un motor de cc serie es uno cuyos embobinados constan de, relativamente, pocas vueltas conectadas en serie con el circuito inducido. El circuito equivalente de un motor de cc serie puede apreciarse en la figura 62. En un motor serie, la corriente inducida, la corriente de campo y la corriente de línea son lo mismo. La ecuación de la ley de voltaje de kirchhoff para este motor es

$$V_T = E_A + I_A (R_A + R_S) \quad (1)$$

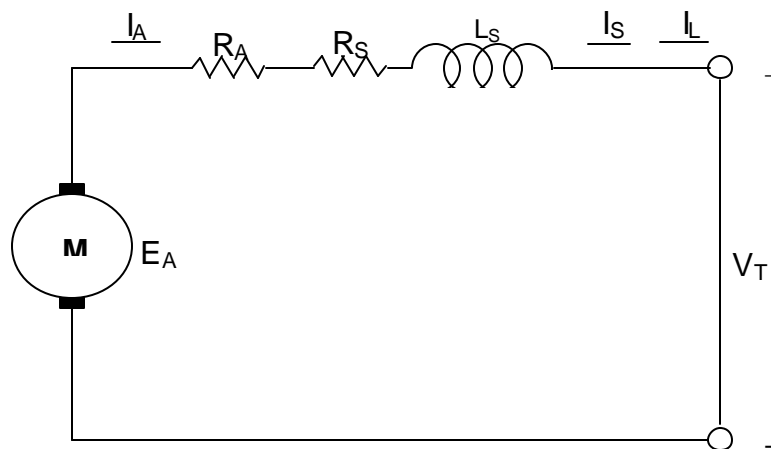


Figura 62. Circuito equivalente de un motor de corriente continua serie.

5.1 Característica terminal del motor serie

Para determinar la característica terminal de un motor de cc serie debe hacerse un análisis basado en el supuesto de una curva de magnetización lineal y luego considerar los efectos de saturación en un análisis gráfico. El supuesto de una curva de magnetización lineal implica que flujo magnético en el motor está dado por

$$\phi = cI_A \quad (2)$$

Esta ecuación se usará para derivar la curva de la característica momento de torsión-velocidad de los motores serie. La derivación de la característica momento de torsión-velocidad de un motor serie comienza con la ecuación 1 y a partir de la ecuación 2, la corriente inducida puede expresarse

$$I_A = \frac{f}{c} \quad \text{Pero} \quad t_{ind} = KfI_A \quad \text{entonces} \quad I_A = \sqrt{\frac{t_{ind}}{Kc}}$$

Igualmente $E_A = K\phi\omega$. Al sustituir en la ecuación 1 resulta.

$$V_T = Kf\omega + \sqrt{\frac{t_{ind}}{Kc}}(R_A + R_S) \quad (3)$$

Para relacionar directamente el momento de un motor con su velocidad, debe eliminarse el flujo magnético de la ecuación 3. Para eliminar el flujo de la expresión se debe tener en cuenta que $I_A = f / c$ y la ecuación de momento inducido puede describirse como

$$t_{ind} = \frac{K}{c} f^2 \quad (4)$$

Por tanto, el flujo del motor puede describirse como

$$f = \sqrt{\frac{c}{K}} \sqrt{t_{ind}}$$

Al sustituir la ecuación 4 por la ecuación 3 y despejar la velocidad, la relación momento de torsión – velocidad resultante es

$$S = \frac{V_T}{\sqrt{Kc}} \frac{1}{\sqrt{t_{ind}}} - \frac{R_A + R_s}{Kc} \quad (5)$$

En la figura 63, se observa que en un motor serie no saturado la velocidad varía con el recíproco de la raíz cuadrada del momento. Esta es una relación inusual y es una desventaja de los motores en serie puede verse, ya que cuando el momento en este motor tiende a cero, su velocidad tiende a infinito.

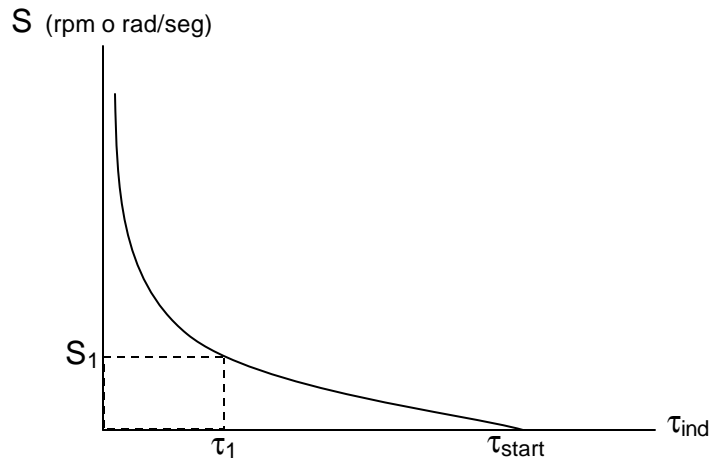


Figura 63. Característica momento de torsión – velocidad de un motor de corriente continua serie

5.2 Característica del momento de torsión inducido.

Como se mencionó anteriormente, en el motor de cc serie, las corriente de armadura y del campo son las mismas por lo que el flujo magnético producido por el campo serie, siempre es proporcional a la corriente de armadura I_A . Por tanto la ecuación básica del par para el funcionamiento del motor serie resulta de:

$$I_A = \frac{f}{c} \quad \text{Pero} \quad t_{ind} = Kf I_A \quad \text{entonces} \quad t_{ind} = Kc I_A^2 \quad (6)$$

Mientras el núcleo del campo esté sin saturar, es decir, en la parte lineal de su curva de magnetización, la relación entre el par y la corriente de carga del motor serie es exponencial como se observa en la figura 64.

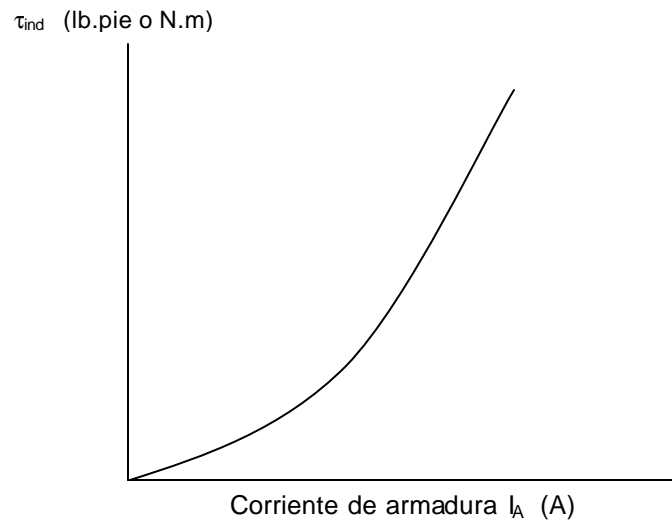


Figura 64. Característica momento de torsión inducido de un motor de corriente continua serie

5.3 Característica de velocidad

La ecuación básica de la velocidad, modificada para el circuito del motor serie es

$$S = \frac{V_T - I_A (R_A + R_S)}{Kf} \quad (7)$$

Siendo V_T el voltaje aplicado en los terminales del motor. Como el flujo en el entrehierro producido por el campo serie es proporcional sólo a la corriente de armadura, se puede decir que la velocidad es

$$S = c \frac{V_T - I_A (R_A + R_S)}{K \Phi} \quad (8)$$

La ecuación (8) da una indicación de la curva característica velocidad – carga de un motor serie. Si se aplica una carga mecánica relativamente pequeña al eje de la armadura de un motor serie, la corriente de armadura I_A es pequeña, haciendo grande el numerador de la fracción de la ecuación (8) y pequeño a su denominador, el resultado será una velocidad anormalmente alta. Por tanto en vacío, con poca corriente en la armadura y flujo en el campo, la velocidad es demasiado alta. Por esta razón los motores serie siempre se trabajan acoplados o engranados con una carga, como en la grúas, plataformas o servicios de arrastre de cd (ferrocarril). Sin embargo, cuando aumenta la carga, el numerador de la fracción de la ecuación (8) decrece con mayor rapidez de la que aumenta el denominador. El numerador disminuye de acuerdo a un producto de I_A , en comparación con el denominador, que aumenta directamente con I_A . La velocidad disminuye rápidamente como se muestra en la figura 65.

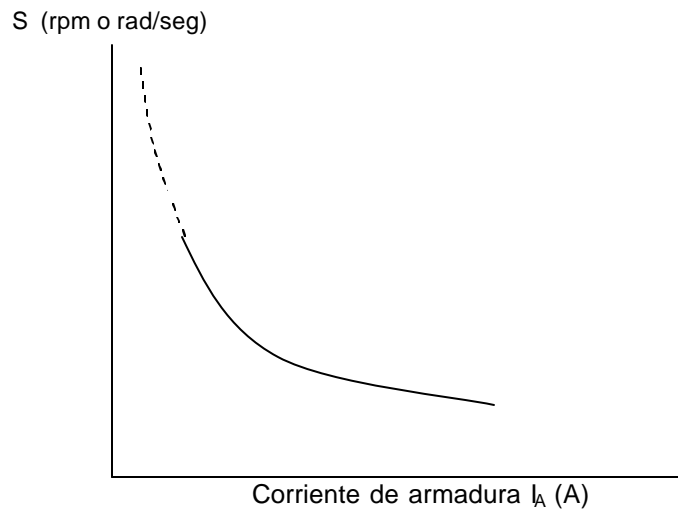


Figura 65. Característica de velocidad del motor de corriente continua con excitación serie

La línea discontinua representa parte de la curva característica que corresponde a carga ligera, en la que no se hacen trabajar los motores serie.

5.4 Control de velocidad

A diferencia de los motores de cc en derivación, hay una sola manera eficiente de cambiar la velocidad de un motor de cc en serie. Este método consiste en cambiar el voltaje terminal del motor. Si se aumenta este voltaje, el primer término

de la ecuación (5) aumenta, de lo cual resulta una mayor velocidad para cualquier momento de torsión dado.

La velocidad de los motores de cc serie puede controlarse también mediante la inserción de una resistencia en serie dentro del circuito del motor, pero esta técnica ocasiona abundante desperdicio de potencia y sólo se usa para períodos intermitentes durante el arranque de algunos motores.

Hasta los últimos veinte años, no hubo manera conveniente de cambiar V_T ; el único método disponible de control de velocidad eran las resistencias en serie, que presentaba problemas de desperdicio. Actualmente todo esto ha cambiado con la introducción de los circuitos de control basados en el SCR.

6. COMPORTAMIENTO DEL MOTOR COMPOUND ADITIVO

Un motor compuesto o con excitación compound tiene un campo shunt y una bobina en serie con la armadura y enrollada sobre el campo paralelo. Este motor puede ser aditivo o diferencial dependiendo del sentido del flujo de corriente entre las bobinas serie y shunt. También puede ser de conexión larga o corta y depende de si la bobina serie es recorrida por la corriente de inducido o por la corriente total absorbida por la red. En otras palabras es largo aditivo si los terminales del campo shunt están conectados a los terminales de la red y es corto aditivo si el campo shunt está conectado en paralelo a la armadura.

En las figuras 66 y 67, se observan los circuitos equivalentes de los motores en conexión largo aditivo y corto aditivo respectivamente. La convención del punto significa que una corriente que fluye hacia un punto corresponde a una fuerza magnetomotriz positiva, y una corriente que fluye fuera del punto corresponde a una fuerza magnetomotriz negativa.

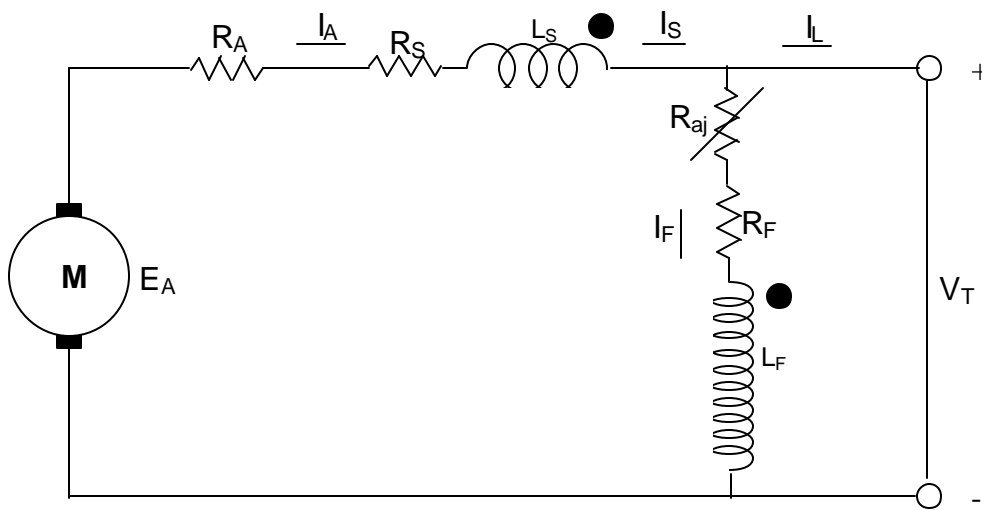


Figura 66. Circuito equivalente de un motor de corriente continua con excitación compound largo aditivo.

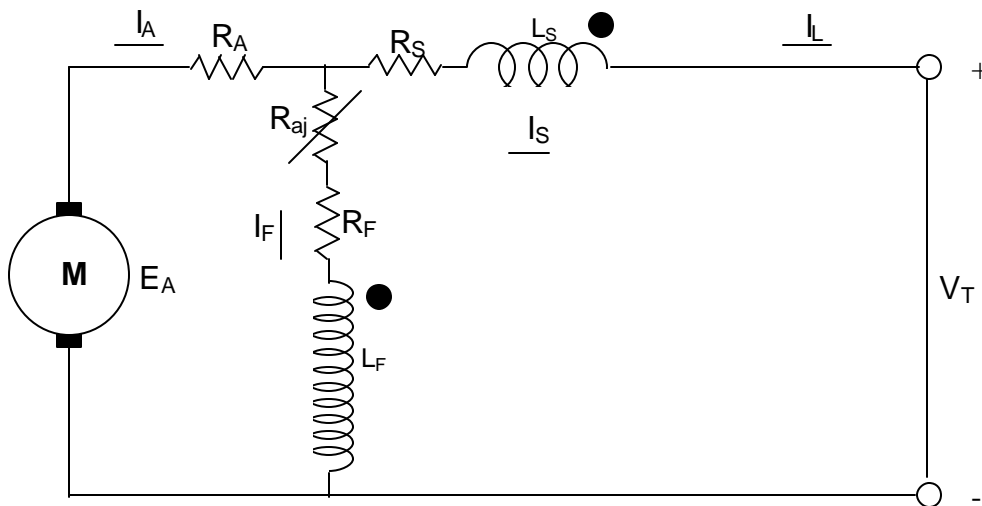


Figura 67. Circuito equivalente de un motor de corriente continua con excitación compound corto aditivo.

Es importante observar lo que ocurre en un motor de composición aditiva cuando se invierte el flujo de potencia. Si el motor de composición aditiva se convierte en un generador, la dirección de su flujo de corriente en el inducido se invierte, mientras que la dirección de su corriente de campo permanece igual que antes. Así, *un motor de composición aditiva se convertirá en un generador de composición diferencial, y un motor de composición diferencial se convertirá en un generador de composición aditiva.*

Las características de este motor son una combinación de las características del motor conectado en shunt y del motor conectado en serie, y sus características fundamentales dependen de la proporción entre los amperios vueltas del devanado serie y las del devanado en shunt. Si predominan los primeros estaremos en presencia de un motor de características más propias al serie, con un límite máximo de velocidad en vacío. Por el contrario, si predominan los amperios vueltas del shunt se tratará de un motor de característica más próxima a la de un motor shunt.

6.1 Característica momento de torsión-velocidad

En el motor compound aditivo hay un componente de flujo que es constante y otro componente que es proporcional a su corriente de inducido (y por tanto, a su carga). En consecuencia, el motor compound aditivo tiene un mayor momento de arranque que un motor en shunt (cuyo flujo es constante) pero un menor momento de arranque que un motor serie (cuyo flujo total es proporcional a la corriente del inducido).

es decir que el bobinado serie incrementa el flujo, originando que el torque sea mayor para una corriente dada; de otro lado, este incremento en el flujo origina que la velocidad disminuya mucho más rápido que si fuera un motor conectado en paralelo.

En conclusión, el motor de cc compound aditivo combina las mejores características del motor shunt y del motor serie. Como motor serie tiene momento de torsión extra para arranque; como motor shunt no presenta desbocamiento en ausencia de carga. Con cargas ligeras, el campo en serie tiene un efecto muy pequeño y por ello el motor se comporta aproximadamente como un motor shunt. A medida que crece la carga y se hace muy grande, el flujo en serie se hace del todo importante y la curva momento de torsión-velocidad comienza a verse como una característica de motor en serie. Ver figura 68.

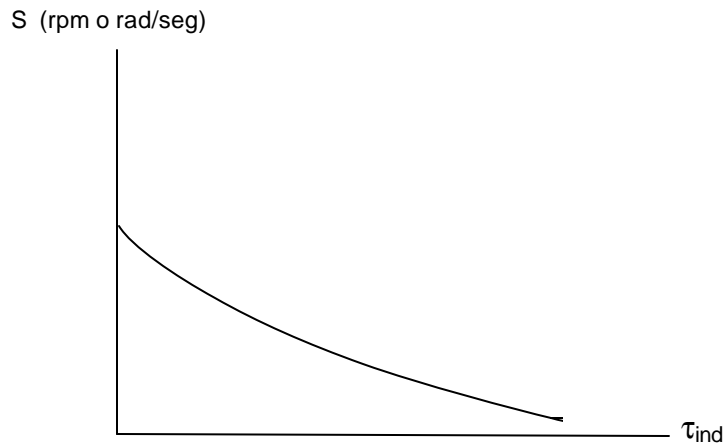


Figura 68. Característica momento de torsión – velocidad de un motor de corriente continua compound aditivo

6.2 Característica de velocidad

La ecuación básica de la velocidad para el motor compound aditivo se puede formular de la siguiente manera:

$$S = K \frac{V_T - I_A (R_A + R_S)}{\mathbf{f}_{shunt} + \mathbf{f}_{serie}} \quad (1)$$

La cual a su vez se puede simplificar a

$$S = K \frac{E_c}{f_{shunt} + f_{serie}} = \frac{KE_c}{f_{Total}} \quad (2)$$

Comparando la ecuación (2) para el motor compound acumulado con $S = KE/\phi_F$ para el motor shunt, se ve que, a medida que aumenta la carga y la corriente de armadura, el flujo producido por el campo en serie aumenta también, mientras que disminuye la fuerza contraelectromotriz. Por tanto el denominador aumenta mientras que el numerador disminuye en mayor proporción que en el motor derivación. El resultado es que la velocidad del motor compound aditivo disminuirá más que la del motor shunt, al aplicar la carga como se observa en la figura 69.

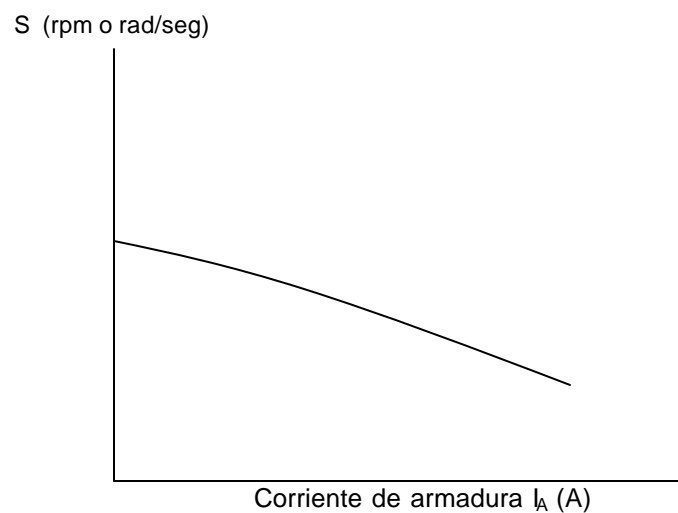


Figura 69. Característica de velocidad del motor de corriente continua compound aditivo.

7. COMPORTAMIENTO DEL MOTOR COMPOUND DIFERENCIAL

Un motor compuesto o con excitación compound tiene un campo shunt y una bobina en serie con la armadura y enrollada sobre el campo paralelo. Este motor puede ser aditivo o diferencial dependiendo del sentido del flujo de corriente entre las bobinas serie y shunt. También puede ser de conexión larga o corta y depende de si la bobina serie es recorrida por la corriente de inducido o por la corriente total absorbida por la red. En otras palabras es largo diferencial si los terminales del campo shunt están conectados a los terminales de la red y es corto diferencial si el campo shunt está conectado en paralelo a la armadura.

En las figuras 70 y 71, se observan los circuitos equivalentes de los motores en conexión largo diferencial y corto diferencial respectivamente. La convención del punto significa que una corriente que fluye hacia un punto corresponde a una fuerza magnetomotriz positiva, y una corriente que fluye afuera del punto corresponde a una fuerza magnetomotriz negativa.

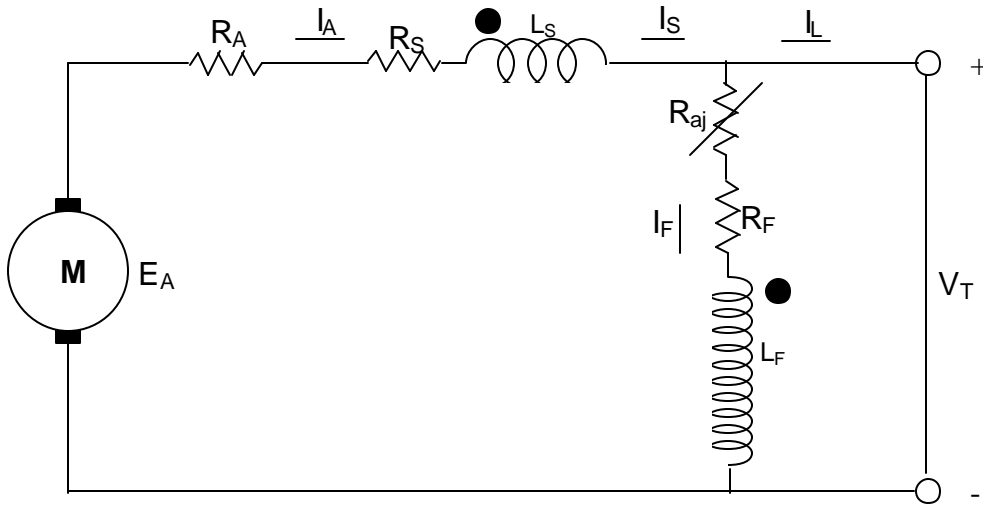


Figura 70. Circuito equivalente de un motor de corriente continua con excitación compound largo diferencial.

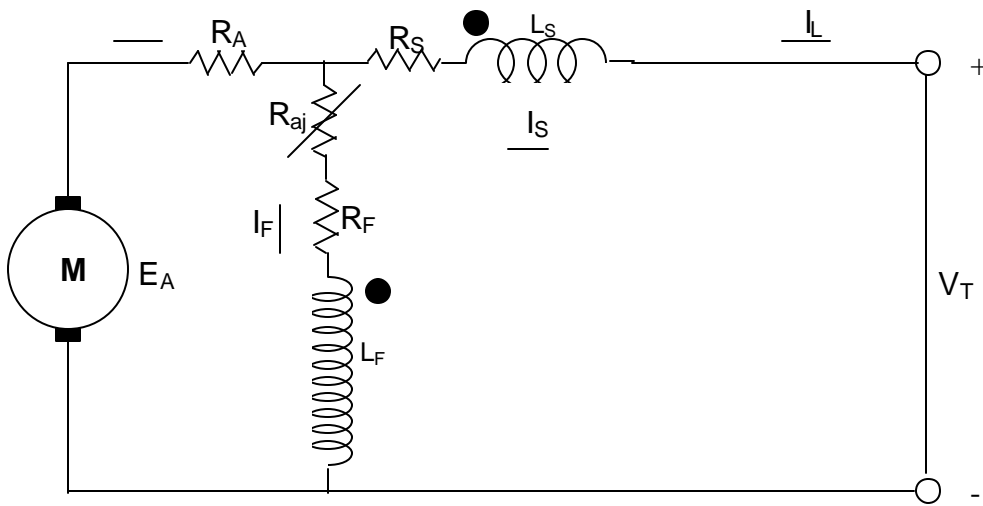


Figura 71. Circuito equivalente de un motor de corriente continua con excitación compound corto diferencial.

7.1 Característica momento de torsión-velocidad

En un motor de cc compound diferencial, la fuerza magnetomotriz shunt y la fuerza magnetomotriz serie se sustraen una de la otra. Esto significa que a medida que aumenta la carga en el motor, I_A crece y el flujo en el motor disminuye. Pero a medida que disminuye el flujo, la velocidad del motor aumenta. Este incremento de velocidad ocasiona otro aumento de la carga que además eleva I_A , disminuyendo luego el flujo y aumentando nuevamente la velocidad. El resultado es que un motor de composición diferencial es inestable y tiende a desbocarse. Esta inestabilidad es mucho peor que la de un motor shunt con reacción de inducido. Un motor de composición diferencial es inapropiado para casi todo tipo de aplicaciones.

Es imposible dar arranque a este tipo de motor ya que en condiciones de arranque la corriente del inducido y la corriente de campo en serie son muy altas. Puesto que el flujo en serie se sustrae del flujo del campo shunt, el campo serie puede realmente invertir la polaridad magnética de los polos de la máquina. De manera típica el motor se cambiará lentamente a la dirección errónea o permanecerá en ella mientras se quema, debido a la excesiva corriente en el inducido. Cuando va a ponerse en operación este tipo de motor, su campo en serie debe estar en corto circuito, de tal manera que se comporte como un motor shunt durante el período de arranque. En la figura 72 puede observarse la característica terminal típica para un motor de cc compound diferencial.

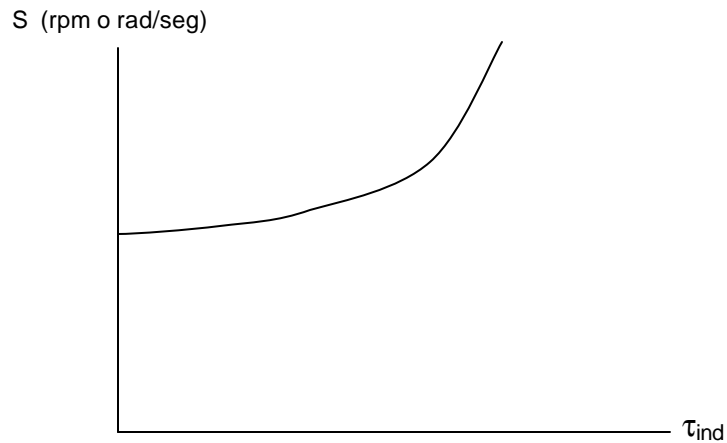


Figura 72. Característica momento de torsión–velocidad de un motor de corriente continua compound diferencial

7.2 Característica de velocidad

La ecuación fundamental de la velocidad para el motor compound diferencial es

$$S = K \frac{V_T - I_A (R_A + R_S)}{\mathbf{f}_{shunt} - \mathbf{f}_{serie}} \quad (1)$$

Cuando aumenta la carga e I_A en un motor compound diferencial, disminuye algo el numerador de la fracción de la ecuación (1), pero el denominador más rápidamente. La velocidad puede decrecer algo a cargas ligeras, pero cuando aumenta la carga, la velocidad aumenta. Esta condición establece una inestabilidad dinámica. A medida que aumenta la velocidad, la mayor parte de las cargas mecánicas aumentan automáticamente, porque se hace trabajo a mayor

velocidad, y se produce un aumento en la corriente, una disminución en el flujo total y una mayor velocidad que a su vez produce todavía mas carga. Por esta inestabilidad propia, los motores diferenciales casi nunca se usan. La característica de velocidad del motor de cc compound diferencial se muestra en la figura 73.

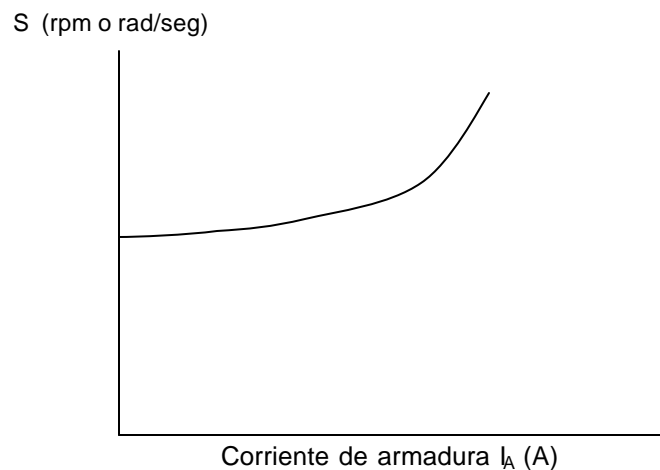


Figura 73. Característica de velocidad del motor de corriente continua compound diferencial.

En conclusión, este tipo de motor presenta los siguientes inconvenientes

- Inestabilidad y peligro de aceleración si al aumentar la carga también aumenta la velocidad
- En caso de sobrecarga predomina el flujo de excitación serie y existe el peligro de inversión de polaridad con fuerte sacudida mecánica por inversión brusca del sentido de giro.

8. GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA AUTOEXCITADO

Las características de una máquina generatriz son curvas que representan las relaciones existentes entre las diversas cantidades que caracterizan el funcionamiento de la misma, entre ellas tenemos la fuerza electromotriz E_A , diferencia de potencial en los bornes (V_T), corriente principal (I_L) (producido en el circuito exterior), corriente de excitación (I_F) y velocidad (S) en rpm.

Hay muchas curvas de esta clase, pero solamente tres tienen interés verdaderamente práctico: La característica en vacío, la característica externa o en carga y la curva de regulación.

La característica en vacío es también llamada curva de saturación magnética, en la cual, se puede analizar el incremento del voltaje generado (E_A) a medida que se incrementan los amperios vuelta en los polos principales.

La fuerza electromotriz desarrollada en el inducido es proporcional al flujo ϕ y a la velocidad S , lo cual se puede apreciar en la siguiente expresión:

$$E_A = \frac{P \times f \times Z \times S}{A} \quad (1)$$

En donde:

P: Número de polos

ϕ : Flujo magnético de N polos

Z: Número de conductores

S: Número de revoluciones

A: Número de pares paralelos

El flujo por polo ϕ , es función de la excitación ($N_F \cdot I_F$), siendo (N_F) el número de espiras de las bobinas inductoras e I_F la corriente de excitación, por lo que:

$$E_A = K \times f(N_F \cdot I_F) \times S \quad (2)$$

De ésta manera al tener como variable ($N_F \cdot I_F$), se podrá notar que (E_A) será proporcional a (I_F) en rango limitado a medida que el hierro se va saturando con el mismo incremento de (I_F), ya no será proporcional al incremento de E_A .

La curva resultante depende de dos parámetros: del voltaje generado y de la corriente de excitación o también al efectuar conversión de unidades, la curva dependerá de B (densidad de flujo), y de H (fuerza magnetizante).

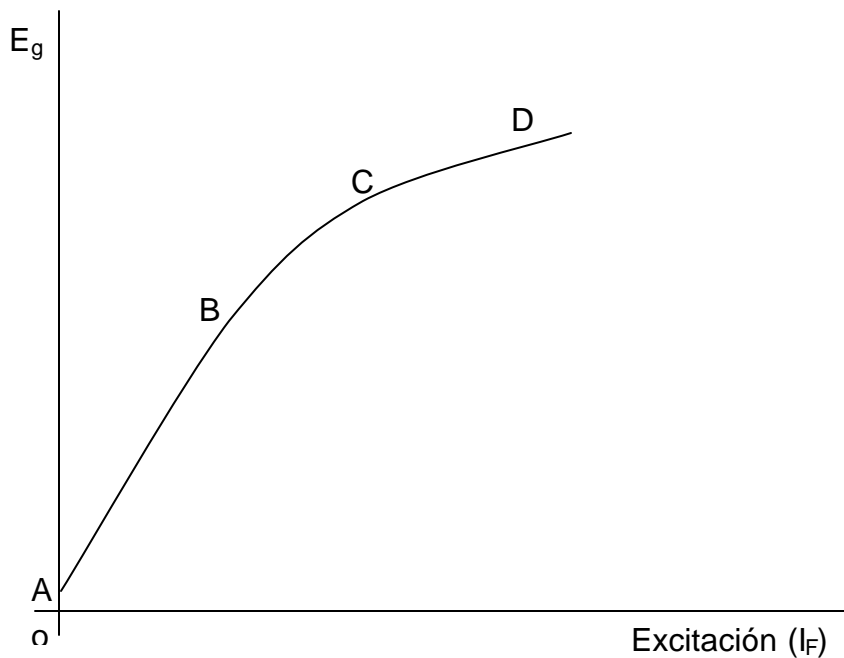


Figura 74. Curva de saturación magnética de un generador DC

En la figura 74, se observa que la curva no empieza en el origen, si no algo mas arriba, de forma que aún cuando la corriente de excitación sea nula se produce una pequeña fuerza electromotriz en el inducido, debido al magnetismo remanente de la máquina. En esta curva se distinguen tres partes:

- Una casi rectilínea, de inclinación muy pronunciada (Sección AB de la figura 74) que corresponde al estado débil de saturación de las partes de hierro que constituyen el circuito magnético. En esta zona, la tensión aumenta proporcionalmente a la excitación.

- Otra parte muy curvada (sección BC de la figura 74), lo que quiere decir que va saturándose poco a poco el hierro aumentando más rápidamente la excitación que la tensión.
- Finalmente, otra parte también casi rectilínea (sección CD de la figura 74) pero poco pronunciada, que corresponde al estado fuertemente saturado del circuito magnético, de forma que el flujo magnético tiende a un valor constante. En esta zona solamente es posible conseguir un apreciable aumento de tensión mediante un considerable aumento de la excitación.

La curva de magnetización es de gran importancia porque las características de funcionamiento de la máquina, bien sea motor o generador, dependen completamente de ella.

9. GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA CON EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

Un generador de cc con excitación independiente es aquel en que la corriente de excitación o corriente de campo es suministrada desde una fuente de voltaje de cc exterior. En la figura 75, se observa el circuito equivalente de este generador.

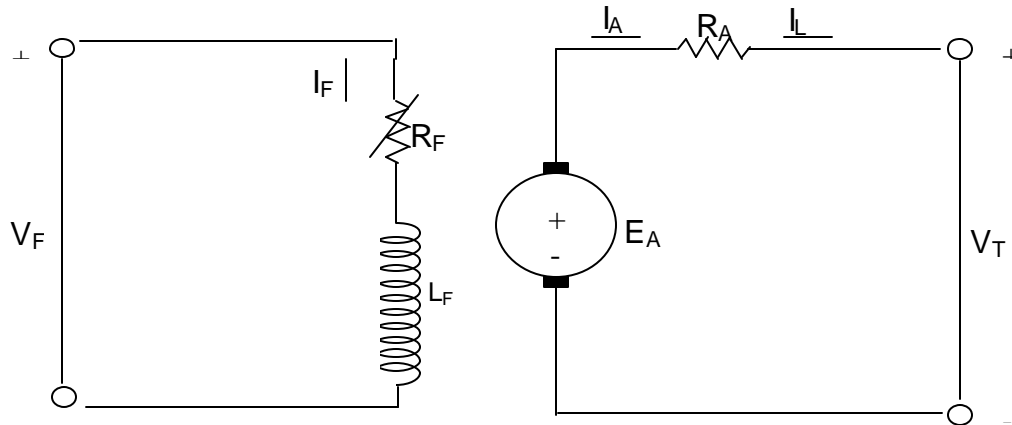


Figura 75. Circuito equivalente de un generador con excitación independiente

En este circuito (figura 75), el voltaje V_T representa el voltaje medido en los terminales del generador y la corriente I_L representa la corriente que fluye por las líneas que conectan dichos terminales. El voltaje generado internamente es E_A y la corriente del inducido es I_A . Como se observa, la corriente de inducido es igual que la corriente de carga por lo que

$$I_A = I_L \quad (1)$$

La característica terminal de una máquina como se ha dicho en prácticas anteriores, es un diagrama de las variables de salida, enfrentadas unas a otras. Para un generador de cc, las variables de salida son su tensión en los bornes y la corriente de línea. La característica de un generador con excitación independiente

es, en este caso, un diagrama de V_T frente a I_L para una velocidad constante ω . Al resolver la ecuación de voltajes de Kirchhoff, la tensión en los terminales es

$$V_T = E_A - I_A R_A \quad (2)$$

Debido a que el voltaje generado internamente es independiente de I_A , la característica terminal del generador con excitación independiente es una línea recta, tal como se muestra en la figura 76. En este tipo de máquina, cuando la carga que suministra el generador se incrementa, aumenta I_L (y por lo tanto I_A). Si la corriente de inducido aumenta, la caída de $I_A R_A$ también aumenta, por lo que el voltaje en los terminales del generador disminuye.

Es importante destacar, que esta característica terminal no siempre se cumple en forma exacta. En los generadores sin embobinados de compensación, un incremento en I_A causa un aumento en la reacción de inducido y ésta produce un debilitamiento del flujo que por consiguiente disminuye a E_A ($E_A = K\phi\omega$). La disminución de E_A reduce la tensión de los bornes del generador. La característica terminal resultante se observa en la figura 77.

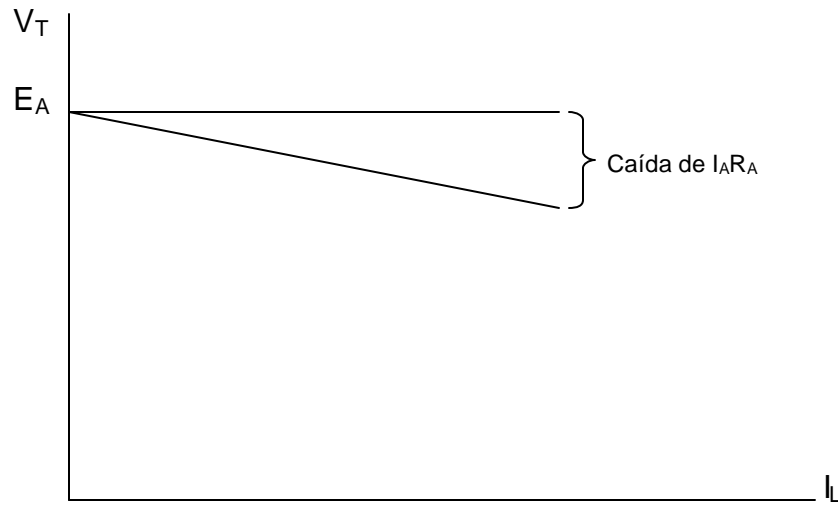


Figura 76. característica terminal de un generador con excitación independiente con embobinado de compensación.

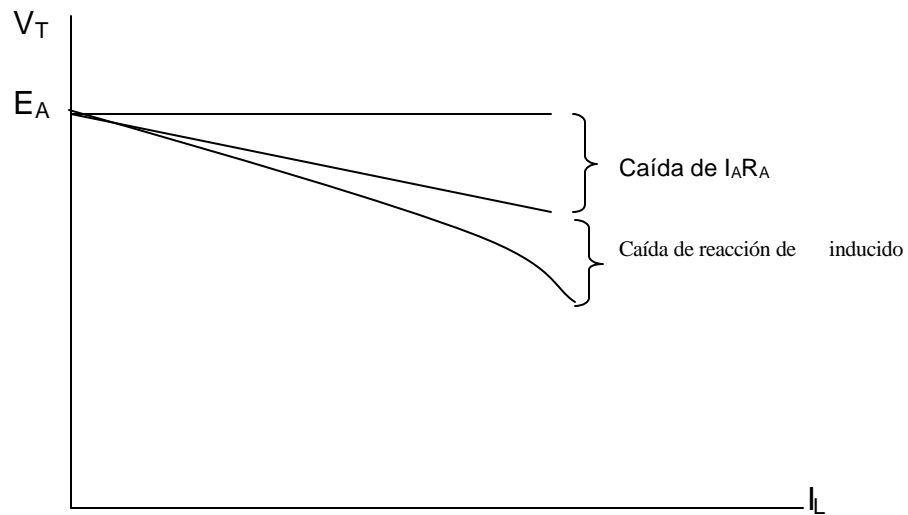


Figura 77. Característica terminal de un generador con excitación independiente sin embobinado de compensación

La tensión en los bornes de un generador de cc con excitación independiente se puede controlar mediante el cambio del voltaje generado interno E_A de la máquina.

Haciendo un análisis a la ecuación (2), se observa que si E_A aumenta, V_T aumenta y si E_A disminuye, V_T también disminuye. Como $E_A = K\phi\omega$, existen dos formas posibles para controlar el voltaje en este tipo de generador; una es cambiando la velocidad de rotación del eje del generador, es decir, si se aumenta la velocidad ω , E_A aumenta y por consiguiente V_T también aumenta. La otra forma posible es cambiando la corriente de campo, es decir, si R_F disminuye, entonces la corriente de campo I_F aumenta y por lo tanto el flujo ϕ también aumenta.

El aumento en el flujo ϕ , produce un aumento en E_A y este a su vez un aumento en V_T . En muchas aplicaciones, no es posible variar la velocidad de rotación del eje de la máquina, por lo que la tensión en los bornes se controla con mayor frecuencia cambiando la corriente de campo.

10. GENERADOR SHUNT

Este es un generador que provee su propia corriente de campo, conectando el campo directamente a sus terminales. En la figura 78, se muestra el circuito equivalente de un generador de este tipo.

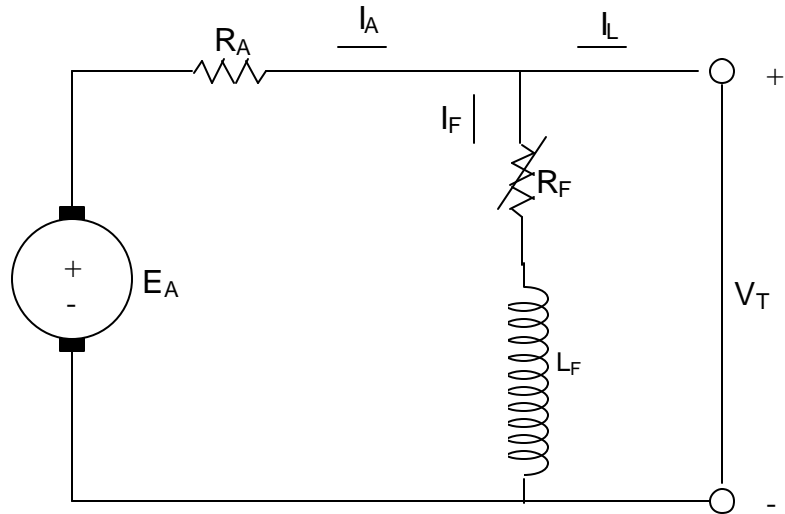


Figura 78. Circuito equivalente de un generador de corriente continua conectado en shunt

En este circuito, la corriente del inducido suministra tanto el circuito de campo como la carga conectada a la máquina. Lo anterior se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I_A = I_F + I_L \quad (1)$$

La ecuación de la ley de voltaje de Kirchhoff, para el circuito del inducido de esta máquina, es

$$V_T = E_A - I_A R_A \quad (2)$$

Este tipo de generador tiene una clara ventaja sobre el generador de cc con excitación externa, que consiste en que no se necesita una fuente de potencia externa para alimentar su circuito de campo.

La formación de voltaje en un generador de cc autoexcitado depende de la presencia de un flujo residual en los polos. Es evidente que recién construida la máquina, sin haber sido objeto de excitación alguna, el flujo en su circuito magnético es nulo y en estas condiciones por mucho que se haga girar el inducido en uno u otro sentido, no se formará ningún voltaje entre las escobillas ó como se dice en la técnica eléctrica, la máquina no se ceba. Cuando un generador de cc conectado en shunt se hace girar, y este tiene flujo residual o remanente en sus polos, se inducirá un voltaje interno que se formula

$$E_A = K f_{residual} \omega \quad (3)$$

Este voltaje que aparece en los terminales del generador (puede ser solo uno o dos voltios), produce una corriente que fluye en la bobina del campo del generador. ($I_F = V_T / R_F$). Esta corriente del campo origina una fuerza magnetomotriz en los polos, que les incrementa el flujo, lo cual, a su vez, causa un aumento en $E_A = K f \omega$, que alza el voltaje terminal V_T . Cuando V_T se eleva, I_F lo hace aún más, acrecentando más el flujo ϕ , que incrementa E_A , etc.

Puede darse el caso que al poner en marcha el generador de cc conectado en shunt, no exista voltaje generado. Hay varias causas posibles para que el voltaje no se forme durante el arranque. Entre ellas están:

1. Posibilidad de que no haya flujo residual en el generador para que se inicie el proceso. Si el flujo residual es cero, entonces $E_A = 0$ y el voltaje nunca se formará. Si se tiene este problema, se debe desconectar el campo del circuito del inducido y conectarlo directamente a una fuente externa de cc. El flujo de corriente que proviene de esta fuente de cc dejará un flujo residual en los polos que facilitará el arranque normal del generador. Este procedimiento se conoce con el nombre de cebado o centelleo del campo.
2. La dirección de rotación del generador puede haber sido invertida o las conexiones del campo pueden haber sido invertidas. En cualquiera de los dos casos, el flujo residual produce un voltaje interno E_A . El voltaje E_A origina una corriente de campo que causa un flujo contrario al flujo residual, en lugar de sumarse a él. En estas circunstancias, el flujo realmente disminuye hasta situarse por debajo de ϕ_{res} , y así ningún voltaje podrá formarse. Si este problema se presenta puede arreglarse la dirección del campo o por medio del cebado con la polaridad magnética contraria.

3. La resistencia del campo se puede ajustar a un valor mayor que la resistencia crítica. Para entender este problema, se debe observar la figura 79

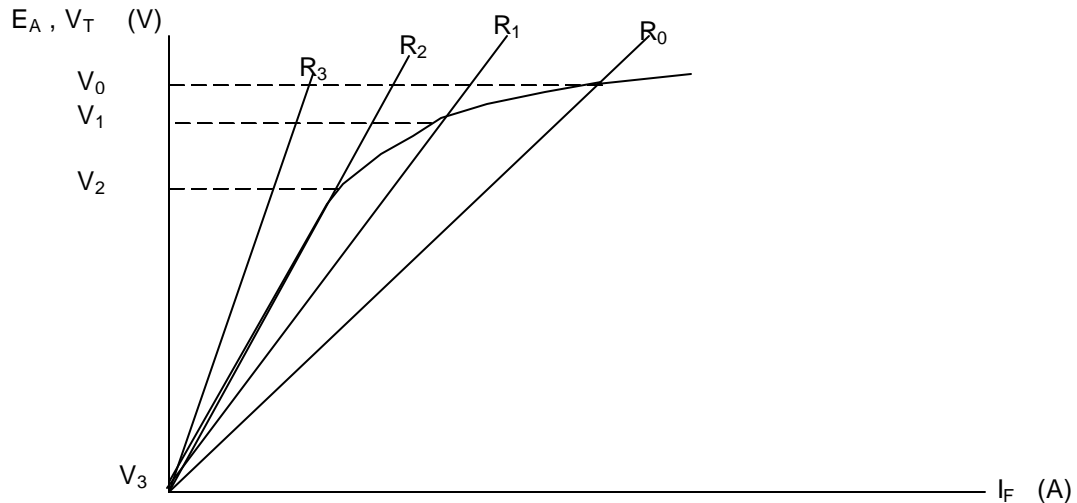


Figura 79. Efecto de la resistencia de campo shunt, sobre la tensión de los bornes de un generador de cc en vacío. Si $R_F > R_2$ (la resistencia crítica), entonces el voltaje del generador no se formará.

Normalmente el generador de cc conectado en shunt aumentará el voltaje hasta que el punto donde la curva de magnetización interseque la línea de la resistencia de campo.

Si la resistencia de campo tiene el valor señalado en R_2 , en la figura 79, su línea es casi paralela a la curva de magnetización. En este punto, el voltaje del generador puede fluctuar ampliamente, con solo cambios mínimos en R_F o I_A . Este valor de la resistencia se llama resistencia crítica. Si R_F excede la resistencia crítica (como en R_3 en la figura 79), entonces el voltaje que opera en

condición estable, permanece principalmente en el nivel residual y no habrá formación de voltaje. La solución a este problema es reducir R_F .

Puesto que el voltaje de la curva de magnetización varía en función de la velocidad del eje, la resistencia crítica también varía con la velocidad. En general, cuanto más baja sea la velocidad del eje, más baja será la resistencia crítica.

10.1 Característica terminal de un generador de cc conectado en shunt

Al incrementarse la carga a un generador de cc conectado en shunt, I_A aumenta así como $I_F = I_A + I_F$ que también crece. Un incremento en I_A aumenta la caída del voltaje de la resistencia del inducido $I_A R_A$, haciendo que $V_T = E_A - I_A R_A$ disminuya. Este es precisamente el mismo comportamiento que se observa en el generador con excitación externa. Sin embargo, cuando V_T disminuye, la corriente de campo de la máquina también decrece con él. Esto hace que el flujo del generador se reduzca, aminorando E_A . La atenuación de E_A , origina una disminución adicional de la tensión de los bornes $V_T = E_A - I_A R_A$. La característica total resultante se muestra en la figura 80. En ésta se observa que la caída de voltaje es más pronunciada que la caída de $I_A R_A$ en un generador con excitación externa. En conclusión, la regulación de voltaje de este generador es inferior a la regulación de voltaje del mismo equipo conectado con excitación externa.

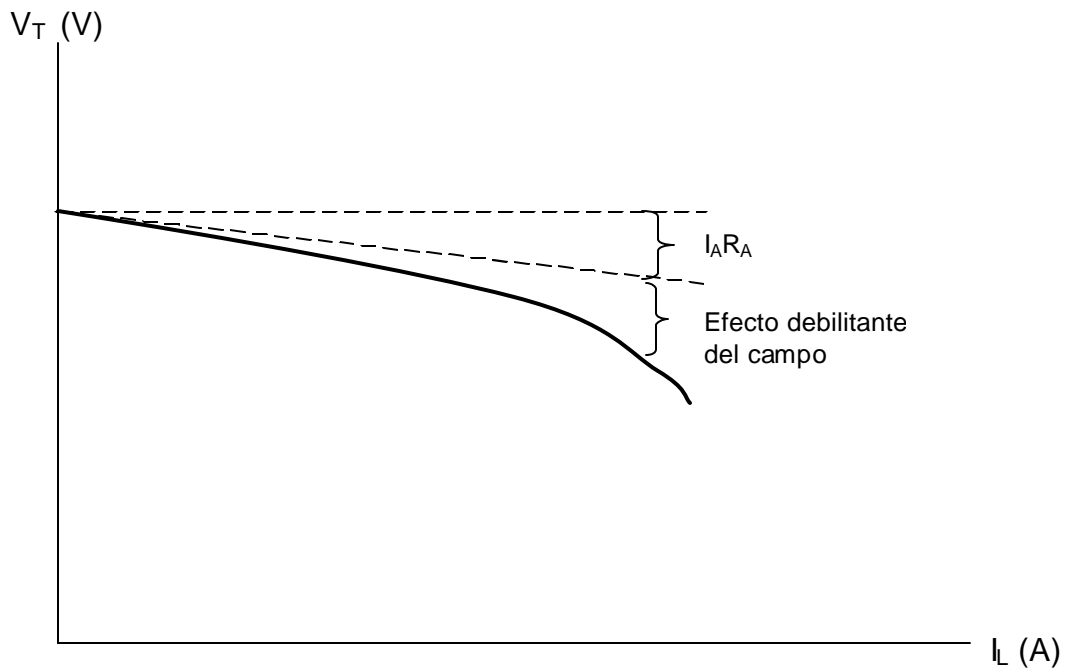


Figura 80. Característica terminal de un generador de corriente continua conectado en shunt

Para controlar el voltaje de un generador de cc conectado en shunt se utilizan dos métodos; Uno de ellos es cambiar la velocidad ω_m del eje del generador, y el otro es cambiar la resistencia de campo del generador con el fin de modificar la corriente de excitación.

11. GENERADOR SERIE

En un generador serie como se observa en la figura 81, la corriente de excitación es la propia corriente de carga y por lo tanto el arrollamiento de excitación estará atravesado por la corriente de línea. Esta condición hace que el arrollamiento de

excitación sea de pocas espiras y considerable sección de hilo, para evitar que la caída de tensión sea elevada.

$$I_L = I_A = I_S \quad (1)$$

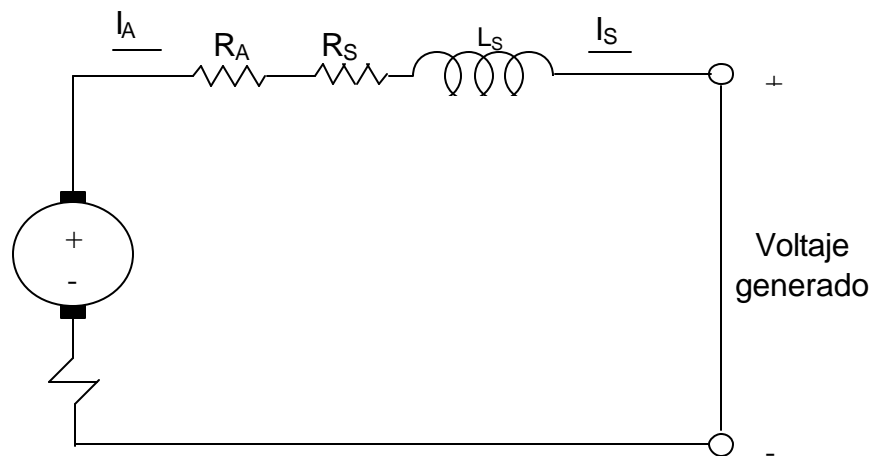


Figura 81. Circuito equivalente del generador DC en conexión serie

En el generador serie no puede hablarse de funcionamiento en vacío, ya que tal cosa no es posible pues al ser la corriente de excitación la misma corriente de carga, si no hay carga no hay excitación, por lo tanto no habrá flujo inductor y, consecuentemente tampoco se inducirá fuerza electromotriz.

Si al generador se le conecta una carga en sus terminales, entonces fluirá una corriente que creará un flujo adicional y a su vez un incremento en el voltaje; sin embargo el cebado no es posible mientras el circuito exterior no tenga una resistencia mínima suficiente para que la intensidad de corriente alcance un valor capaz de reforzar el magnetismo remanente del circuito inductor. Esta resistencia

mínima se denomina resistencia crítica. El cebado tampoco es posible mientras la velocidad no alcance cierto valor (velocidad crítica), capaz de originar una fuerza electromotriz suficiente.

11.1 Característica terminal de un generador serie

En la figura 81, se muestra el circuito equivalente de un generador de cc serie en el cual por la ecuación de voltaje kirchhoff se deduce

$$V_T = E_A - I_A(R_A + R_S) \quad (2)$$

La curva de magnetización de un generador de cc serie se parece mucho a la curva de magnetización de cualquier otro generador. Como se mencionó anteriormente, en vacío no hay corriente de campo, por lo que V_T disminuye a un nivel muy pequeño dado por el flujo residual de la máquina. Como la carga aumenta, la corriente de campo sube, y por tanto, E_A se eleva rápidamente. La caída de $I_A(R_A + R_S)$ también se incrementará, pero al comienzo, el aumento en E_A se produce más rápidamente que lo sube la caída de $I_A(R_A + R_S)$, por consiguiente V_T se incrementa. Un poco después se aproxima a la saturación y E_A se vuelve casi constante. En este punto, la caída de la resistencia es el efecto predominante y V_T comienza a disminuir. En la figura 82 se muestra este tipo de

característica. Obviamente, esta máquina no es una fuente de voltaje constante. De hecho, su regulación de voltaje es un número negativo grande.

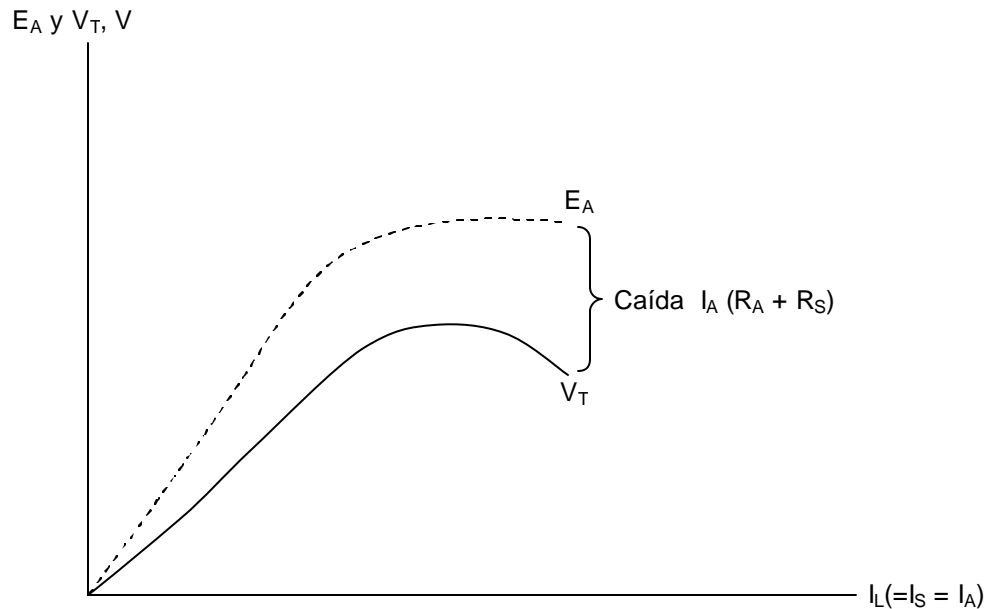


Figura 82. Deducción de la característica terminal para un generador serie

Los generadores serie se usan solamente en unas pocas aplicaciones especializadas, donde la característica de voltaje excesivo del aparato puede explotarse. Una de tales aplicaciones es la soldadura de arco. Los generadores serie que se usan para esta clase de soldadura se diseñan deliberadamente para tener una gran reacción de inducido, lo que les da una característica terminal, como la que se muestra en la figura 83. En ésta se observa que cuando los electrodos de la soldadura se tocan entre si, antes de comenzar a soldar fluye una corriente muy grande. Mientras el operario separa los electrodos de soldadura, hay una subida abrupta en el voltaje del generador, en tanto que la corriente

permanece alta. Este voltaje hace que un arco permanezca en el espacio que queda entre los electrodos que se usan para soldar.

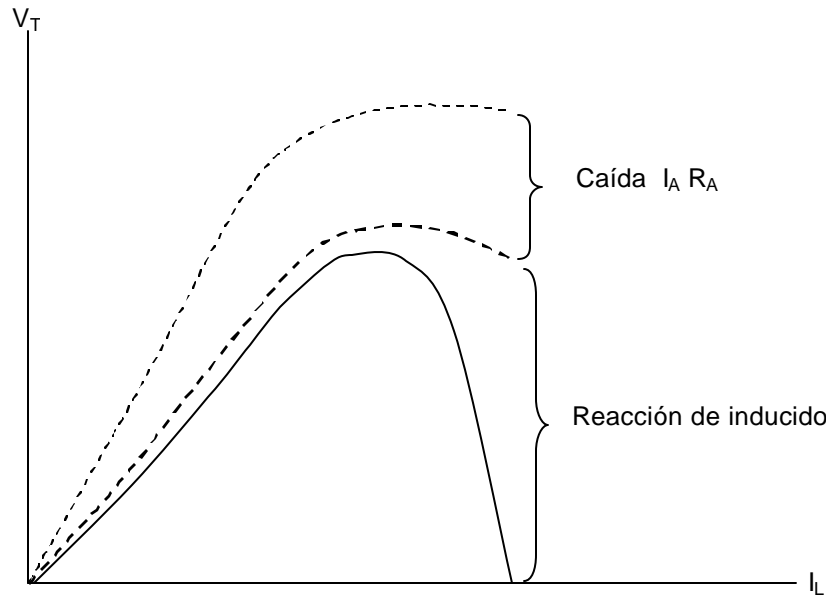


Figura 83. Característica terminal de un generador serie, con grandes efectos de reacción de inducido, apropiado para soldadores eléctricos

El punto de funcionamiento en carga de un generador serie se traduce gráficamente por la intersección de la característica exterior con la recta de resistencia (ver figura 84).

$$V_T = I_n R_{ext} \quad (3)$$

Siendo

R_{ext} = Resistencia exterior del circuito

I_n = Intensidad nominal del generador

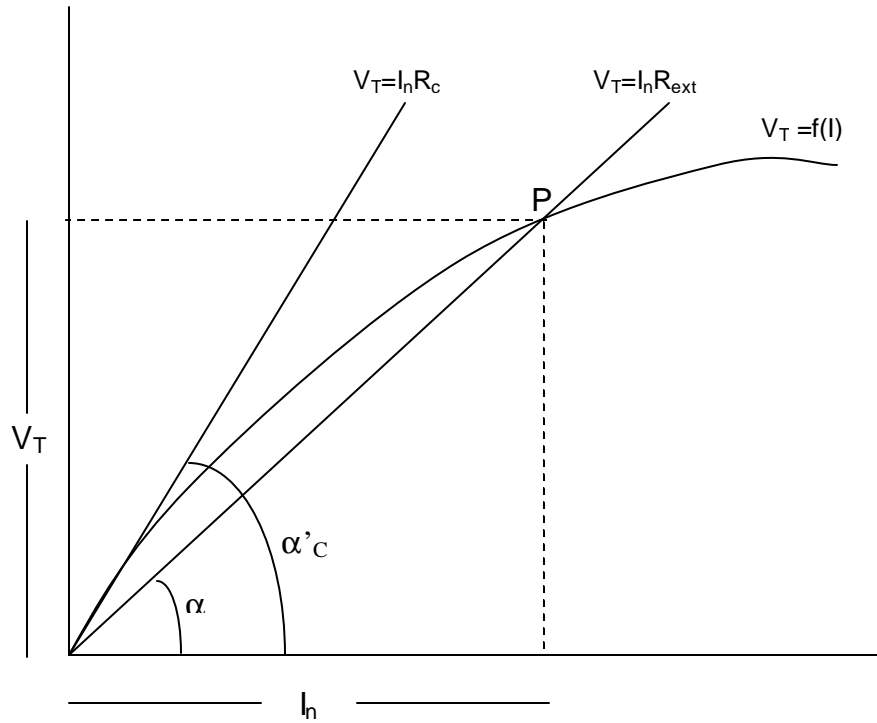


Figura 84. Punto de funcionamiento en carga de un generador corriente continua serie

En todos los casos

$$R_{ext} = \frac{V}{I} = \tan \alpha$$

y el ángulo α'_c oscila desde un valor dado por

$$R_c = \tan \alpha'_c$$

Que se denomina resistencia crítica de la red, hasta el valor

$\tan \alpha'_c$

Que corresponde a las condiciones de cortocircuito, es decir

$$V_T = 0 \text{ e } I_h = I_{CC}$$

Normalmente para obtener una regulación fina, el campo serie se paralela con un reóstato cuya resistencia se gradúa por medio de un solenoide conectado en serie con el circuito exterior, de esta manera la corriente suministrada por el generador puede mantenerse constante.

12. GENERADOR COMPOUND ADITIVO.

Un generador de cc compound largo aditivo (o acumulativo) es un generador, tanto en serie como en shunt, conectados de tal forma que las fuerzas magnetomotrices de los dos campos se suman. La figura 85 muestra el circuito equivalente de un generador de este tipo, es decir en conexión largo aditivo. Los puntos que aparecen sobre las dos bobinas de campo, tienen el mismo significado

que los puntos sobre un transformador: *La corriente que fluye hacia un punto produce una fuerza magnetomotriz positiva.*

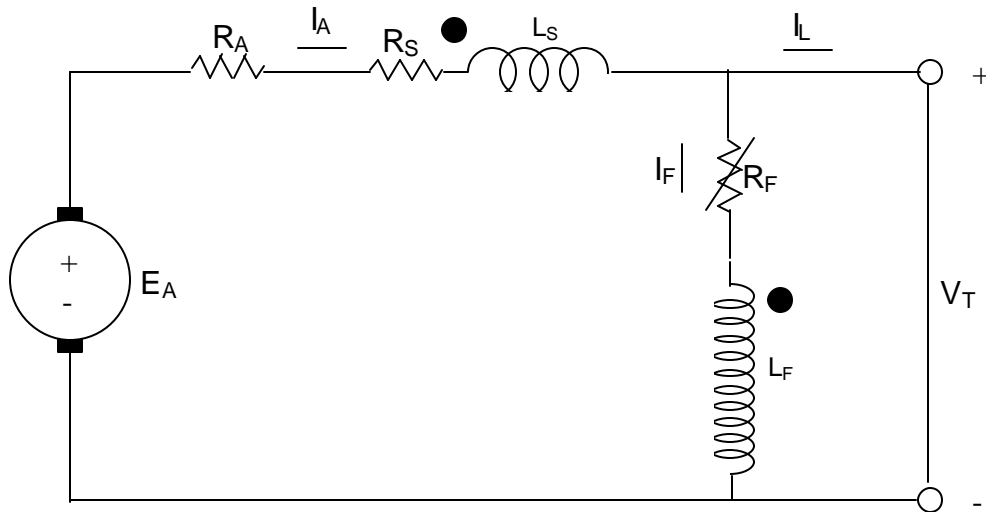


Figura 85. Circuito equivalente del generador de corriente continua compound largo aditivo

Del circuito anterior se deducen las siguientes ecuaciones

$$I_A = I_F + I_L \quad (1)$$

$$V_T = E_A - I_A(R_A + R_S) \quad (2)$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad (3)$$

12.1 Característica terminal de un generador de cc compound aditivo

Para entender la característica terminal de un generador de cc compound aditivo, es necesario entender los efectos pertinentes que suceden dentro de la máquina. Si se incrementa la carga al generador, la corriente de carga se incrementa, por lo tanto la corriente de inducido también se incrementa. En este momento ocurren dos fenómenos en el generador:

- Como la corriente de inducido aumenta, la caída de voltaje $I_A(R_A+R_S)$ también aumenta. Esto tiende a producir una disminución en el voltaje de los bornes V_T .
- Como la corriente de inducido aumenta, la fuerza magnetomotriz del campo serie también aumenta. Esto hace que se incremente la fuerza magnetomotriz total, es decir, el flujo total en el generador, por lo que E_A aumenta también. El aumento de E_A tiende a hacer que V_T se eleve como se observa en la ecuación (3).

Estos dos efectos se oponen entre sí: uno tendiendo a incrementar V_T y el otro a disminuir V_T . El efecto predominante depende de cuantas espiras en serie se pongan en los polos de la máquina. Por lo anterior, se distinguen tres diferentes grados de composición.

1. Generador Hipocompound. Si hay solamente unas pocas espiras en serie, el efecto de caída de voltaje resistiva predomina sin dificultad. El voltaje disminuye, tal como el de un generador en shunt, pero no tan abruptamente. En este tipo de generador la acción del arrollamiento shunt es superior a la del arrollamiento serie y la tensión de los bornes a plena carga es menor que la tensión de bornes en vacío..
2. Generador Compound Propiamente Dicho. Si hay mas espiras de alambre en serie en los polos, entonces, al comienzo, el efecto de fortalecimiento predomina y la tensión de los bornes sube con la carga. Sin embargo como la carga continua en aumento, se alcanza la saturación magnética y la caída resistiva se vuelve mas fuerte que el efecto de incremento del flujo. En tal máquina, la tensión de los bornes se eleva primero y luego disminuye, en tanto que la carga aumenta. En este tipo de generador, la acción de ambos arrollamientos se compensa exactamente, con lo que se obtiene una tensión en bornes sensiblemente constante, cualquiera que sea la carga.
3. Generador Hipercompound. Si todavía se añaden más espiras en serie al generador, el efecto de fortalecimiento predomina por un tiempo mayor, antes de que la caída resistiva se imponga. El resultado es una característica con la tensión de bornes a plena carga, realmente mas alta que la misma tensión de vacío. En este generador la acción del arrollamiento serie es superior a la acción del arrollamiento shunt por lo que la tensión de bornes V_T a plena carga, excede a V_T en vacío ya que el aumento de la corriente de carga aumentará ligeramente la tensión de bornes de la máquina.

En la figura 86 se observa la característica terminal del generador compound aditivo en sus diferentes grados de composición.

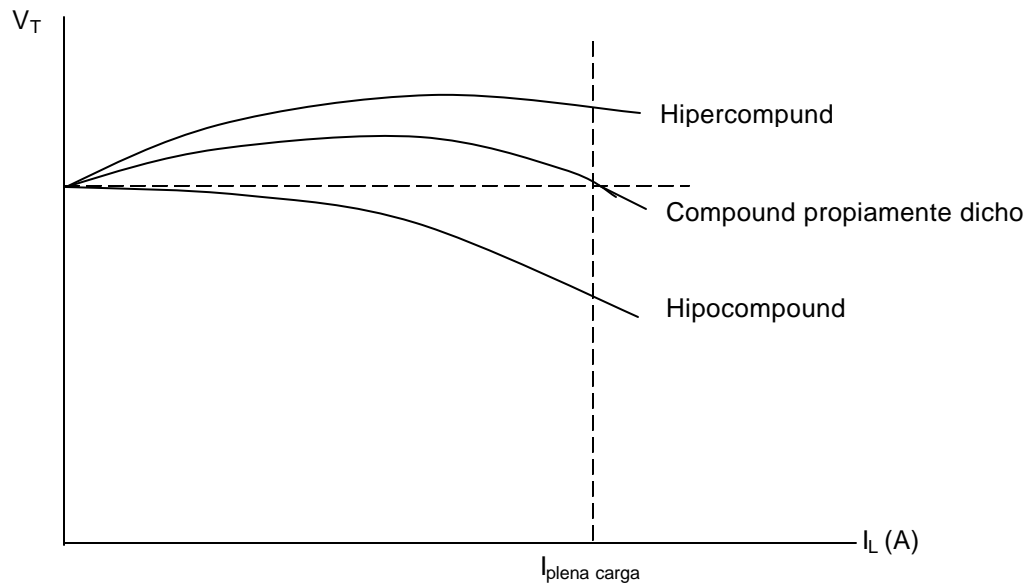


Figura 86. característica terminal de los generadores de corriente continua compound acumulativo

Es posible obtener todas estas características de voltaje de un generador sencillo, si se usa una resistencia desviadora. La figura 87 muestra un generador de cc compound largo aditivo, con un número relativamente grande de espiras en serie. Si la resistencia desviadora se gradúa en un valor grande, la mayor parte del flujo de corriente de inducido circula por la bobina de campo en serie y el generador es hipercompound. Por el contrario si se gradúa en un valor pequeño, la mayor parte

de la corriente de inducido circula alrededor del campo serie a través de las resistencia desviadora y el generador se considera hipocompound. En conclusión, mediante la utilización de la resistencia desviadora, puede obtenerse el grado de composición que se desee.

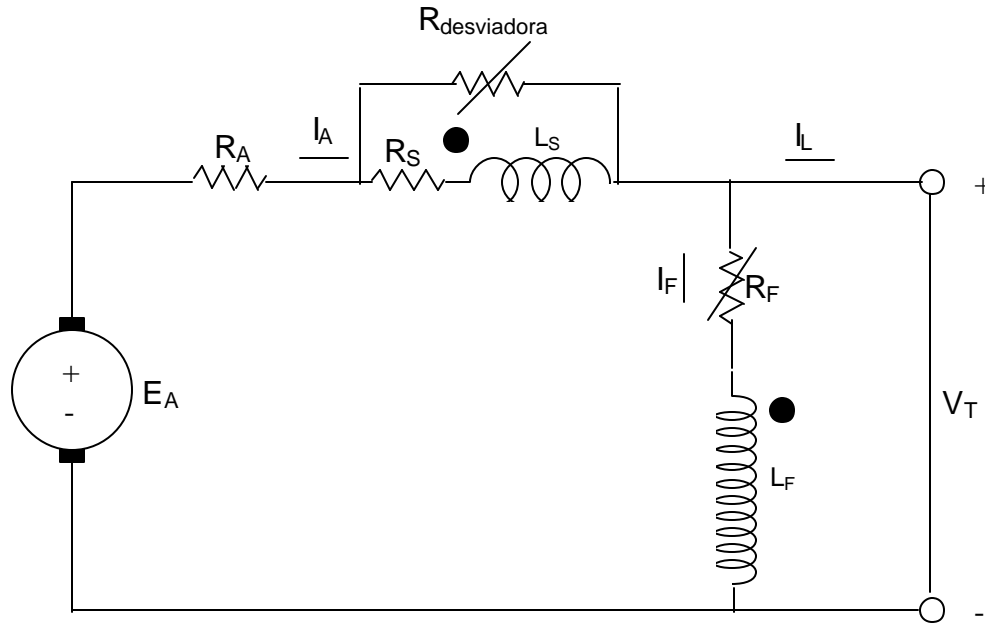


Figura 87. Generador de corriente continua compound aditivo largo con resistencia desviadora.

15. GENERADOR COMPOUND DIFERENCIAL

Un generador compound diferencial o compound sustractivo es aquel en que la fuerza magnetomotriz del arrollamiento serie tiene sentido contrario a la fuerza magnetomotriz del arrollamiento shunt. Al igual que en el compound aditivo, este

generador puede ser compound largo diferencial o compound corto diferencial. En la figura 88 se observa el circuito equivalente de un generador compound largo diferencial.

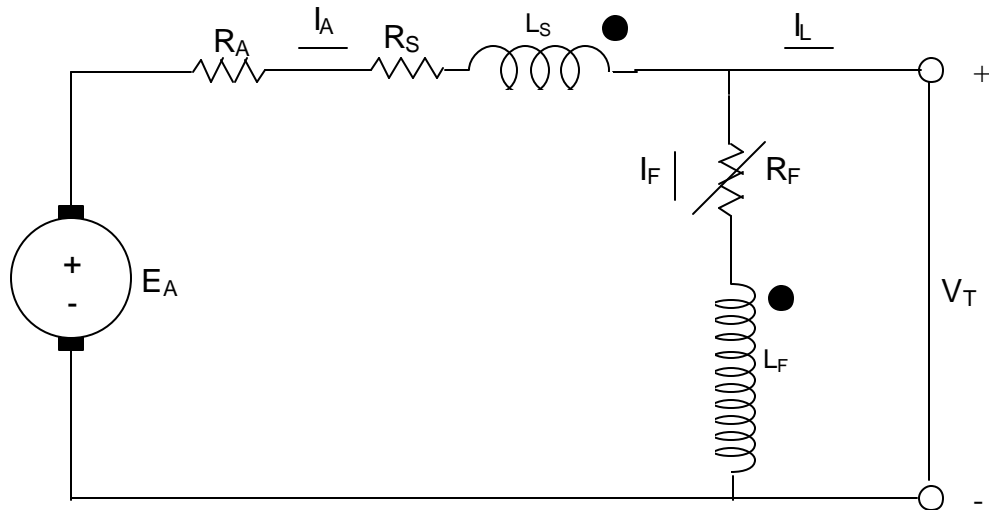


Figura 88. Circuito equivalente de un generador de corriente continua compound largo diferencial

Del circuito anterior se derivan las siguientes ecuaciones

$$I_A = I_F + I_L \quad (1)$$

$$V_T = E_A - I_A(R_A + R_S) \quad (2)$$

$$I_F = \frac{V_T}{R_F} \quad (3)$$

13.1 Característica terminal de un generador de cc compound diferencial

En el generador de cc compound diferencial ocurren los mismos efectos que están

presentes en el compound aditivo, con la diferencia que ambos efectos actúan en el mismo sentido. Ellos son

- Como la corriente de inducido aumenta, la caída de voltaje $I_A(R_A+R_S)$ también aumenta. Esto tiende a producir una disminución en el voltaje de los bornes V_T .
- Como la corriente de inducido aumenta, la fuerza magnetomotriz del campo serie también aumenta. Esto hace que disminuya la fuerza magnetomotriz total, es decir, el flujo total en el generador, por lo que E_A disminuye también y por consiguiente V_T .

Puesto que los dos efectos tienden a disminuir V_T , el voltaje baja drásticamente mientras la carga aumenta en el generador. En la figura 89 se observa esta característica.

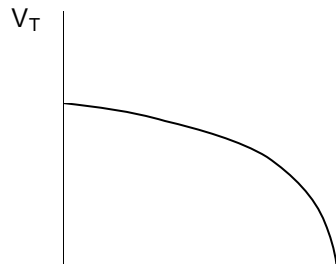


Figura 89. Característica terminal de un generador compuesto diferencial

A pesar de que las características de caída de voltaje de un generador de cc compound diferencial son bastante malas, hay posibilidad de graduar la tensión de los bornes para cualquier carga que se desee. Las técnicas disponibles para graduar la tensión son las mismas que aquellas para los generadores de cc en shunt y compound aditivos, es decir, cambio de la velocidad del rotación del eje y cambio de la corriente de campo.

Estos generadores diferenciales son favorables para alimentar receptores con efecto de resistencia negativa, especialmente los arcos eléctricos (puesto de soldadura, proyectores, etc.), para los que se precisa una corriente constante a pesar de las variaciones de tensión.

14. PÉRDIDAS DE POTENCIA Y EFICIENCIA DE UNA MÁQUINA DE CC

Una parte de la energía aplicada a un motor o a un generador cualesquiera se pierde dentro de la misma máquina, convirtiéndose en calor que se disipa. Esta energía no es solamente perdida, sino que tiene el inconveniente de calentar la máquina limitando así su potencia utilizable. Si las pérdidas de energía en el interior de la máquina alcanzan valores excesivos, la elevada temperatura que se produce corre el peligro de perjudicar el aislamiento.

Como los motores y generadores son parecidos, tienen los dos mismos tipos de pérdidas internas. Por consiguiente, lo que se indica a continuación se aplica tanto al motor como al generador.

Para calcular la eficiencia de un motor de cc deben determinarse las siguientes pérdidas:

1. Pérdidas de cobre.
2. Pérdidas de caída de voltaje en las escobillas
3. Pérdidas mecánicas
4. Pérdidas en el núcleo
5. Pérdidas adicionales.

Las pérdidas de cobre en el motor son las pérdidas I^2R en los devanados de la máquina por efecto joule.. Estas pérdidas pueden hallarse luego de conocer las corrientes en la máquina y sus respectivas resistencias. Para determinar la resistencia del circuito de inducido de una máquina, se bloquea su rotor de modo que no pueda girar y se aplica un pequeño voltaje de cc a las terminales del inducido. Se ajusta ese voltaje hasta que la corriente que fluye en el inducido es igual a la corriente nominal del inducido de la máquina. El cociente entre el voltaje aplicado y la corriente resultante en el inducido es la resistencia del inducido.

Las pérdidas de caída de voltaje de escobilla por lo general se suman casi a las pérdidas de cobre. Esta pérdidas incluyen la resistencia propia de las escobillas y la resistencia de contacto de las mismas.

Las pérdidas del núcleo, son las debidas a corrientes parásitas y las ocasionadas por histéresis en el hierro de la máquina, producidas por cambios en la dirección y magnitud del flujo. Una gran parte de las pérdidas en el núcleo se producen en el hierro del inductor. Las corrientes parásitas son proporcionales a la velocidad y al flujo. Como las pérdidas varían con el cuadrado de la corriente (I^2R), las pérdidas producidas por las corrientes parásitas varían proporcionalmente a los cuadrados de la velocidad y del flujo.

Las pérdidas en el núcleo y las pérdidas mecánicas por lo general se determinan juntas. Si se deja que un motor gire libremente en vacío y a la velocidad nominal, entonces no hay potencia de salida de la máquina. Puesto que la máquina está sin carga, la corriente de inducido es muy pequeña y las pérdidas de cobre del mismo son insignificantes. Por tanto, si las pérdidas de cobre del campo se restan de la potencia de entrada del motor, la potencia de entrada residual deberá constar de las pérdidas de núcleo y pérdidas mecánicas de la máquina a esa velocidad. Estas pérdidas se denominan pérdidas rotacionales en vacío, del motor. En la medida en que la velocidad del motor es casi la misma que era cuando se midieron las pérdidas, las pérdidas rotacionales en vacío son un buen estimado de las pérdidas de núcleo y mecánica bajo carga en la máquina.

Las pérdidas adicionales deben evaluarse en el 1 % de la potencia suministrada.

La eficiencia de una máquina es la relación entre la potencia que suministra y la potencia que absorbe, es decir,

$$eficiencia = \frac{Potencia \text{ útil}}{Potencia \text{ absorbida}} \times 100\% \quad (1)$$

Esta expresión se puede poner en una de las dos formas:

$$eficiencia = \frac{Potencia \text{ útil}}{Potencia \text{ útil} + pérdidas} \times 100\% \quad (2)$$

$$eficiencia = \frac{Potencia \text{ absorbida} - pérdidas}{Potencia \text{ absorbida}} \times 100\% \quad (3)$$

Por lo tanto, si las pérdidas de la máquina se conocen, se puede obtener el rendimiento correspondiente a cualquiera potencia útil absorbida.

Anexo C. Dispositivo medidor de velocidad de los motores del banco de pruebas
grupo motores monofásicos

**1. DISPOSITIVO MEDIDOR DE VELOCIDAD DE LOS MOTORES DEL BANCO
DE PRUEBA GRUPO MOTORES MONOFÁSICOS**

Para lograr medir la velocidad de los motores, se utilizó un disco ranurado acoplado a cada uno de los ejes de los motores, de tal forma que el disco corte periódicamente un haz de luz infrarroja. Parte del disco permite el paso del haz de luz y parte del disco bloquea el haz de luz. Por lo tanto se generará un frecuencia que dependerá de la velocidad angular del disco que . Una vez obtenida esta frecuencia se hace pasar por una unidad de control que la convertirá en una señal de voltaje y de ahí es enviada al tacómetro. En la figura 90, se muestra el diseño del disco ranurado para los motores monofásicos de fase partida, con condensador permanente, espiras de sombra y trifásico. En el caso del motor universal, el disco solo cuenta con dos ranuras ya que la velocidad de éste es tan elevada que sobrepasa la frecuencia máxima (con 16 ranuras) que soporta la unidad de control y a la vez superaría la escala del tacómetro

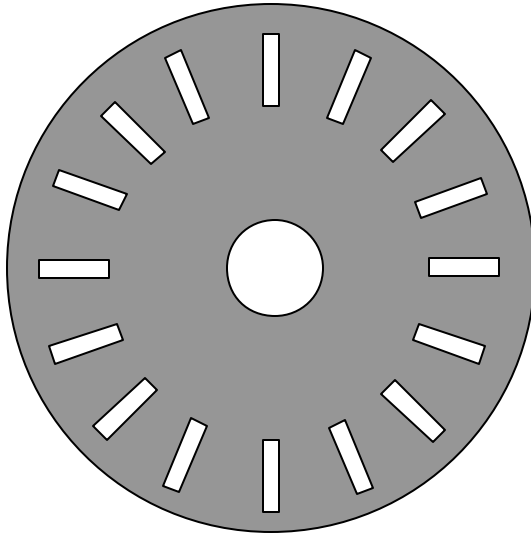


Figura 90. Disco ranurado acoplado a los ejes de los motores.

1.1 Análisis

El principio utilizado en este proyecto es contar el número de vueltas de un disco perforado instalado en el eje de cada motor. Conociendo la relación del número de vueltas de cada disco y el eje en que se encuentra acoplado, es fácil calcular la velocidad independiente para cada uno de los motores.

La construcción del tacómetro se basó a partir del instrumento de medición que iba a ser utilizado, en este caso un medidor de velocidad análogo controlado por voltaje. Por tanto la velocidad se calcula a través de la relación del número de vueltas del disco ranurado (frecuencia) y el voltaje aplicado al medidor análogo.

La construcción del dispositivo medidor de velocidad presenta una serie de requerimientos o desafíos:

Costo: Se necesitan módulos de medición de velocidad para cada motor.

Interface: La activación de múltiples motores requiere de un control para la medición de velocidad independiente de cada motor.

Tamaño: La cantidad de discos ranurados, sus respectivos sensores y el módulo de control pueden consumir un poco de espacio.

Errores de medición: Debe existir una linealidad entre la relación de la frecuencia o el número de vueltas de los discos y el voltaje aplicado al instrumento de medición.

Calibración: El número de ranuras de los discos depende de la velocidad máxima de cada motor.

La etapa de medición de velocidad se diseñó a partir de un solo instrumento de medición de RPM, por lo tanto se necesita multiplexar la señal de entrada al instrumento de medida y así obtener una medición independiente de velocidad para cada motor. El multiplexaje se realiza por medio de un codificador digital controlado por los contactores que dan orden de arranque o parada a los motores.

Si se activan mas de dos motores a la vez, sólo el que tenga mas prioridad tendrá indicación de velocidad. Esta prioridad es establecida por el integrado utilizado para el multiplexaje. En la figura 91 se indica en resumen el principio básico del módulo a diseñar.



Figura 91. Diagrama de bloques del modulo a diseñar

1.2 Diseño e implementación del tacómetro

Para el diseño se estudiaron los diferentes integrados capaces de convertir una frecuencia a un voltaje en forma lineal. Entre ellos están el LM331, con una linealidad máxima de $\pm 0.06\%$ y el LM2917 con una linealidad típica de 0.3% .

Se escogió el integrado LM331 por su fácil adquisición, su gran versatilidad y los pocos componentes externos que requiere. Es un convertidor de voltaje a frecuencia ideal para construir circuitos de bajo costo, como conversión análoga a

digital, “conversión de precisión de frecuencia a voltaje” (figura 92), modulación y demodulación de frecuencia y muchas mas aplicaciones.

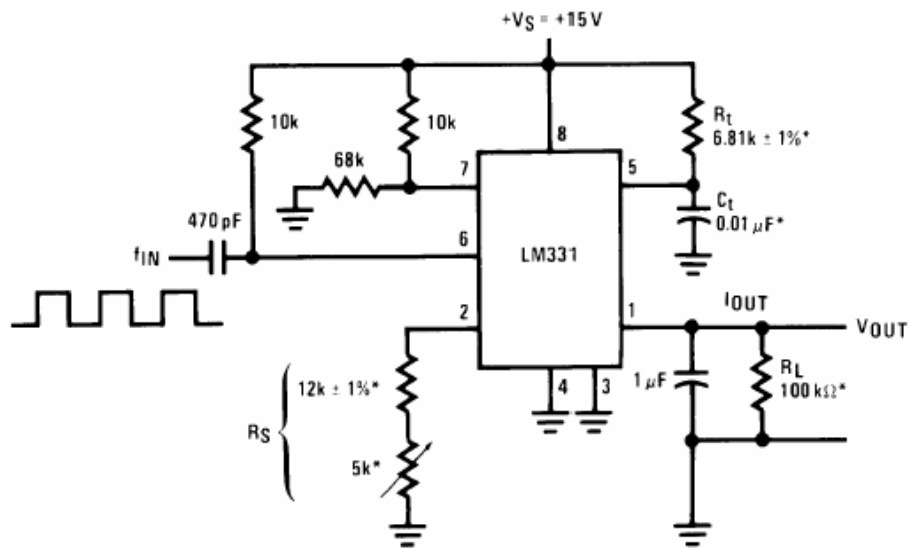


Figura 92. Convertidor básico de frecuencia a voltaje

El principio de operación del convertidor es producir una corriente de salida cuando el voltaje del pin 7 es mayor que el presentado en el pin 6 del integrado.

El voltaje en el pin 2 es regulado a 1.9V con fuentes de alimentación Vs en el rango de 3.9V a 40V y para valores de corriente entre 10μA – 1mA. Se debe tener cuidado al seleccionar la resistencia Rs para asegurar esta corriente y no reducir la exactitud del convertidor (Rs mínima = 1.9kΩ).

El voltaje de salida es igual a:

$$V_{out} = f_{IN} \times 2.09V \times \frac{R_L}{R_S} \times (R_i C_i)$$

La resistencia Rx acoplada a tierra en el pin 7 se calcula a partir de la ecuación:

$$R_x = \frac{(V_s - 2V)}{0.2mA} \quad (R_x = 68K \text{ si } V_s=15V)$$

El valor máximo de voltaje de salida del ejemplo mostrado en la figura 92, es de 10V a una frecuencia de 10kHz.

Entre otras especificaciones de operación del LM331 como convertidor de frecuencia se tienen:

1. La señal de entrada debe ser un tren de pulsos con un voltaje típico de 0 - 3V a una frecuencia mayor de 400Hz, para asegurar una mejor exactitud.
2. Corriente de salida entre 2mA – 8mA (Dependiendo del voltaje de alimentación)
3. Error de linealidad máximo de 0.1%.

Se escogió una fuente de voltaje para el convertidor de 12V debido a que el medidor de RPM acepta niveles de voltaje de hasta 7V aproximadamente.

También es necesario amplificar la corriente de salida del convertidor (4mA típico), a un valor mucho mayor; para ello se escogió el circuito integrado LM358 configurando uno de sus dos operacionales como Buffer, con una corriente de salida máxima de 40mA. Este es alimentado con el mismo valor de la fuente del convertidor de frecuencia a voltaje (12V).

La frecuencia de entrada al convertidor es creada por la interrupción de un rayo de luz a través de un disco ranurado. El haz de luz es generado con un diodo infrarrojo e inducida a un fototransistor.

Las ranuras o perforaciones dependen de la velocidad de giro de cada motor. Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$RPM = RPS \times 60 = \frac{f}{Nr} \times 60$$

Donde:

Nr = número de ranuras

f = frecuencia

Cuatro de los Cinco motores presentan una velocidad en el orden de los 1700 RPM, por lo tanto el número de ranuras a una frecuencia mayor de 500Hz debe ser mayor o igual a 17 y asegurar así la linealidad.

Debido a la dificultad en la construcción del disco se colocaron 16 ranuras en él, produciendo una frecuencia en el orden de los 450Hz cuando es acoplado al eje de los motores, excluyendo el motor universal.

Para mantener el rizado en la salida del convertidor en el orden de los 10mV, no se varían la resistencia y el condensador de salida mostrado en el ejemplo de la figura 92.

Por lo tanto el voltaje de salida dependerá sólo de R_s (pin 2). Para un voltaje de salida máximo de 7V, a una frecuencia de 450Hz, R_s debe tener el valor de 913.6Ω .

El valor escogido fue de $1.2k\Omega$ en serie con una resistencia variable de $5k\Omega$. El voltaje de salida será igual a:

$$V_{out} = f_{IN} \times 2.09V \times \frac{R_L}{R_S} \times (R_t C_t) = 450 \times 2.09 \times \frac{100k}{1.2k} \times 68 \times 10^{-6} \Rightarrow V_{out} \leq 5.32V$$

La resistencia R_x (pin 7 a tierra) calculada es de $47k\Omega$ (ver figura 92).

La resistencia R_t del fototransistor (figura 93) se calcula de tal forma que la luz externa no excite el fototransistor y halla falsas lecturas en la conversión de f/v.

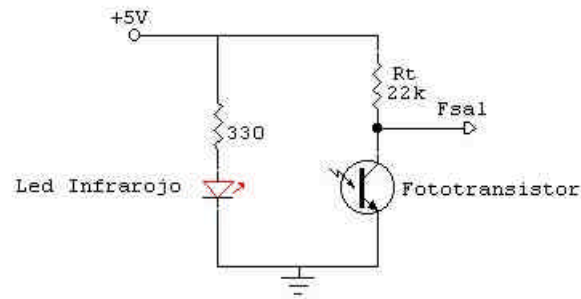


Figura 93. Generación de la frecuencia de entrada

Entre mas alta es R_t es mucho más sensible el fototransistor. El valor de la corriente de saturación encontrado es de:

$$I_{c(sat)} = \frac{5V}{22k\Omega} = 0.227mA$$

En las curvas estáticas de los dispositivos se encuentra que con una corriente en el LED emisor mayor a 1mA el fototransistor entrará en saturación.

$$I_{LED} = \frac{5V}{330\Omega} = 15.1mA$$

La desventaja de utilizar fototransistores es que sus tiempos de conmutación son del orden de microsegundos, por lo tanto la señal de salida no es totalmente cuadrada, siendo necesario utilizar una interface para acoplarla con el convertidor de frecuencia a voltaje. Para reducir el tamaño de la tarjeta se utiliza el segundo

operacional del circuito integrado LM358. En este caso es configurado como un comparador de voltaje y así poder obtener el tren de pulsos adecuado.

El voltaje de referencia del comparador es la mitad del voltaje de entrada (0-5V), proviene de la salida del fototransistor.

Se tiene que en las especificaciones del convertidor el voltaje típico del tren de pulsos es de 3V. Como el voltaje de salida del comparador está entre 0V y 12V, la salida de este se acopla a un seguidor de voltaje limitado a 3V. Esto se consigue con un transistor y un diodo Led.

El circuito de acondicionamiento se muestra en la figura 94.

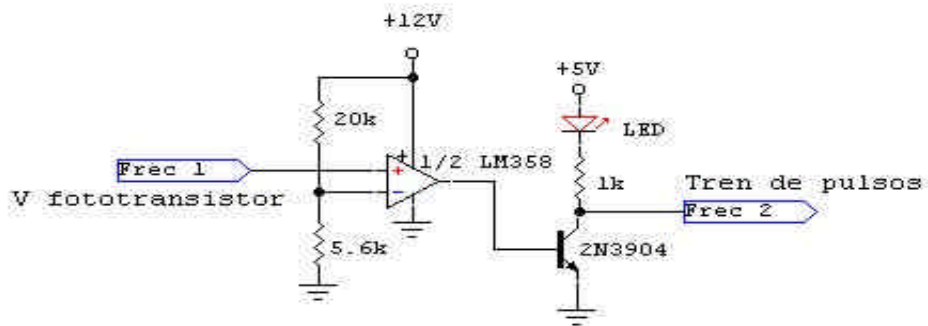


Figura 94. Acondicionamiento de la señal de frecuencia

En la figura 95 se muestra el diagrama de bloques que permite seleccionar la velocidad del motor a medir a partir de la frecuencia de giro de los discos

ranurados. Se puede observar una interface entre la selección y el multiplexor de señales, debido a que el control de estos se realiza con códigos binarios (BCD).

La selección de la velocidad del motor a medir se realizan con contactos que se cierran al energizarse los motores.

La interface se realiza con un conversor decimal a BCD con prioridad; es decir, si se enciende uno o dos motores el que tenga más importancia tendrá una lectura en el tacómetro. En el caso particular de el banco de pruebas de motores monofásicos, el motor de fase partida es el que tiene mas prioridad y lo siguen en su orden el motor de condensador permanente, el motor espira de sombra, el motor universal y el motor trifásico (conectado como monofásico. El circuito integrado TTL74148 es el adecuado para estos propósitos; posee 8 líneas de entrada y 3 de salida conectadas al control del multiplexor. En este caso se utilizan 5 líneas de entrada ya que el banco presenta cinco motores.

El multiplexor escogido es análogo; el LM4051, ideal para manejar las señales de frecuencia generadas por los fototransistores.

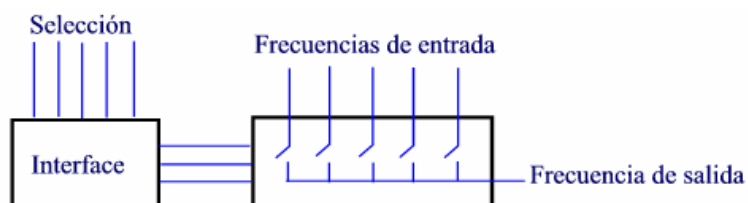


Figura 95. Diagramas de bloques de la unidad de control

La fuente de alimentación del sistema se realiza a partir de los reguladores de voltaje convencionales de tres terminales, uno para la tensión de entrada no regulada, otro para la salida y el último a masa. Los reguladores LM7805 y LM7812 son capaces de proporcionar corrientes de cargas desde 100mA hasta 1A. Aparte de un par de condensadores de desacoplo, los reguladores no requieren componentes externos.

Finalmente en la figura 96 se muestra el circuito completo del dispositivo medidor de velocidad.

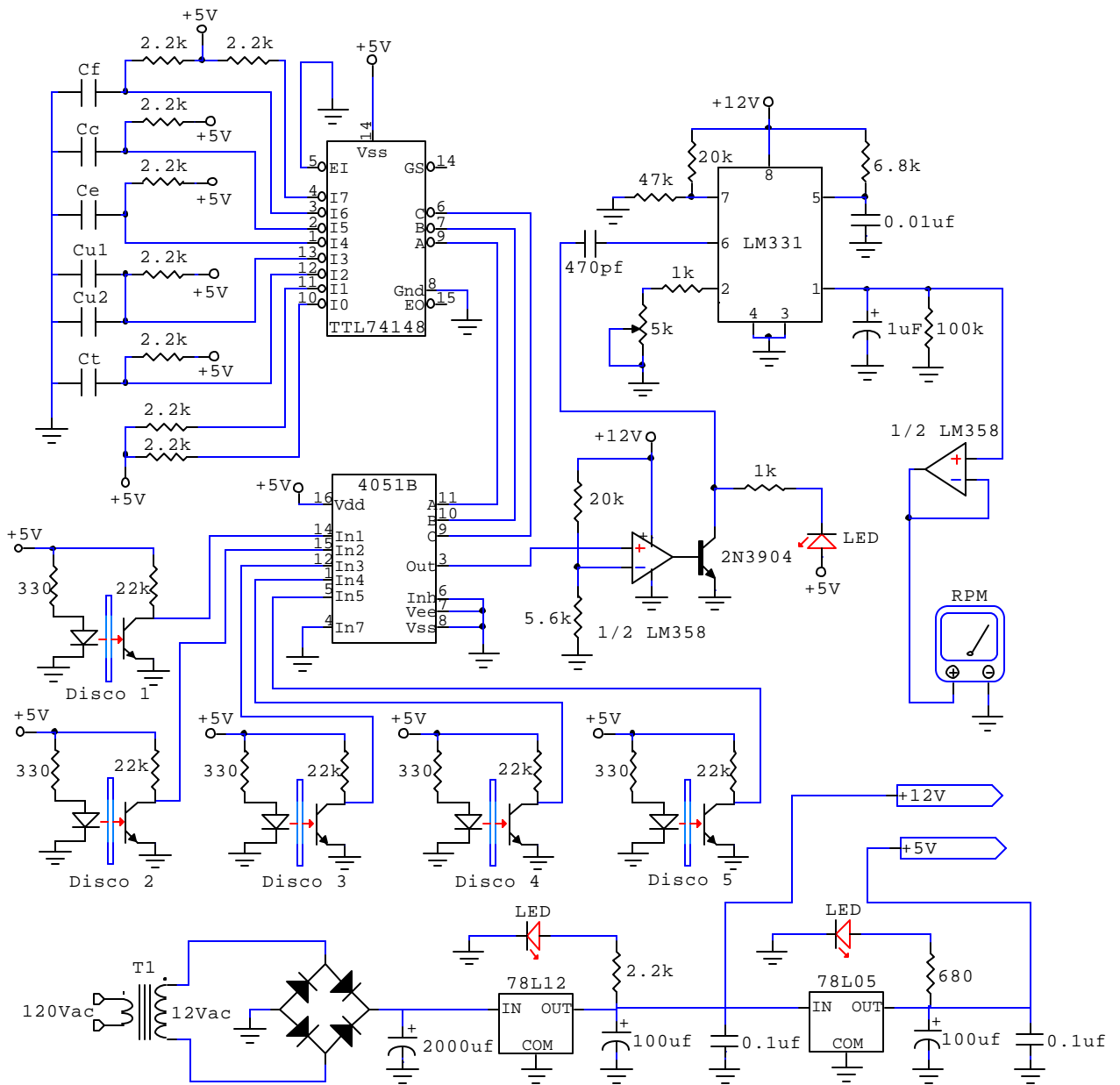


Figura 96. Circuito completo del dispositivo medidor de velocidad.

Anexo D. Cálculo de las resistencias de arranque para el motor de corriente continua

Los datos significativos del motor para el cálculo de resistencias de arranque son

Corriente nominal; I_N : 8.8 A

Voltaje nominal ; V_T : 220 V

Resistencia de armadura (incluyendo interpolos y escobillas) R_A : 4.6 Ω

El número de pasos de resistencias se calcula a partir de (ver anexo B. Comportamiento del motor de cc en el momento de arranque)

$$N = \frac{\log \frac{1}{YZ}}{\log X}$$

Donde

N : Número de pasos de resistencia

Y : Relación entre la corriente máxima de arranque deseada y la corriente nominal

Z : Constante que generalmente oscila entre 0.1 y 0.2. [$Z = (R_A \times I_N) / V_T$]

X : Relación entre la corriente de arranque deseada y la corriente de conmutación

Por lo cual se efectúan los siguientes cálculos

En el momento de arranque, la fuerza contraelectromotriz (E_A) es nula, por lo tanto, la corriente del motor en ese instante es

$$I_p = \frac{V_T - E_A}{R_A} = \frac{220 - 0}{4.6} = 47.8 \text{ A}$$

Donde I_p es la corriente de arranque.

Se desea que en el momento de arranque del motor, la corriente sea dos veces el valor nominal, es decir, 17.6 A.

Por lo tanto

$$Y = I_{P(\text{deseada})} / I_N = 2(I_N) / I_N = 2$$

La resistencia total de arranque más la resistencia del inducido es

$$R_1 = V / I_p = 220 \text{ V} / 2(8.8) \text{ A} = 12.5 \Omega$$

luego

$$R = R_1 - R_A = 12.5 - 4.6 \text{ A} = 7.9 \Omega$$

Donde

R : Resistencia total de arranque.

Se desea que la corriente de conmutación sea de 12.5 A (I_V), entonces

$$X = I_P / I_V = 17.6 / 12.5 = 1.4$$

El valor de Z es

$$Z = (4.6 \Omega \times 8.8 \text{ A}) / 220 \text{ V} = 0.184$$

El número de pasos de resistencias es

$$N = \frac{\log \frac{1}{(2 \times 0.184)}}{\log(1.4)} = 3$$

Por lo tanto se tienen tres pasos de resistencias, en donde,

$$r_1 = [R_1 (X - 1)] / X = (12.5 \times 0.4) / 1.4 : r_1 = 3.57 \Omega$$

$$r_2 = r_1 / X = (3.57 / 1.4) ; r_2 = 2.56 \Omega$$

$$r_3 = r_2 / X = (2.56 / 1.4) ; r_3 = 1.83 \Omega$$

Anexo E. Inventario de partes del banco de pruebas del grupo motores monofásicos

Cant.	Descripción y aplicación	Datos de identificación	Designación
3	Breakers	LUMINEX 1 x 15 A	BR1 BR2 BR3



1	Contactador motor de fase partida	Contactador LC1D0910 Bobina 110 V 60 Hz + Bloque de contacto auxiliar Telemecanique	CF
1	Contactador motor de fase partida Con condensador permanente	Contactador LC1D0910 Bobina 110 V 60 Hz + Bloque de contacto auxiliar Telemecanique	CC

1	Contactador motor Universal (AC) Con condensador permanente	Contactador LC1D0910 Bobina 110 V 60 Hz + Bloque de contacto auxiliar Telemecanique	CU ₁
1	Contactador motor Universal (DC) Con condensador permanente	Contactador LC1D0910 Bobina 110 V 60 Hz + Bloque de contacto auxiliar Telemecanique	CU ₂

1	Contactador motor trifásico	Contactador LC1D0910 Bobina 110 V 60 Hz + Bloque de contacto auxiliar Telemecanique	CT
1	Contactador motor espiras de sombra	Contactador Klockner moeller Bobina 110 V 60 Hz	CE
1	Contactador de relevo	Contactador Klockner moeller Bobina 110 V 60 Hz	CR

1	Contactador temporizado	Contactador LC1D0910 Bobina 110 V 60 Hz + Bloque temporizado LA2DT2 Telemecanique	TR1
1	Condensador	296 uF- 330 V 60 Hz	C ₁
1	Condensador	10 uF- 330 V 60 Hz	C ₂

1	Condensador	20 uF- 330 V 60 Hz	C ₃
1	Motor de fase partida	CENTURY. ¼ HP110 - 220 V	
1	Motor de fase partida con condensador permanente	EMERSON. ¼ HP 110 V	
1	Motor espiras de sombra	LINCOLN 470 W – 110 V	
1	Motor Universal	CENTURY 120 V – 60 Hz	
1	Motor trifásico	SIEMENS. 0.4/ 0.3 P/Kw 220 V YY – 440 V Y	
1	Interruptor	Tres posiciones	SW1
2	Fusibles	250 V – 15 A	F ₂ – F ₃
4	Fusibles	250 V – 5 A	F ₄ - F ₅ - F ₉ - F ₁₀
4	Fusibles	250 V – 2 A	F ₁ - F ₆ - F ₇ - F ₈
1	Selector	FUJI ELECTRIC. BX 3H2 Tres posiciones. 1- 0 - 2	Selector

		Telemecanique	
10	Señales visuales	Ojo de buey. Bombillo 220 V AC	L ₁ - L ₂ - L ₇ - L ₈ L ₁₀ - L ₁₁ - L ₁₃ - L ₁₄ - L ₁₇ - L ₁₈
9	Señales visuales	Indicadores 120 V AC	L ₃ - L ₄ - L ₅ - L ₆ L ₉ - L ₁₂ - L ₁₅ L ₁₆ - L ₁₉
1	Transformador	MAGOM 120V / 6V - 9V -12V- 18 V	T ₁
1	Puente rectificador	8 A	
1	Tacómetro	0 – 4000 rpm	RPM
1	Voltímetro	BEW modelo: BE-96 300 V	V ₁
1	Voltímetro	BEW modelo: BE-96 300 V	V ₂
1	Voltímetro	 150 V	V ₃
		 10 A	

2	Amperímetros		$A_1 - A_2$
1	Amperímetro	TECHMAN. TP - 670 5 A	A_3
1	Frecuencímetro	SIEMENS Bobina 220 V	F
1	Disco ranurado	2 ranuras	
4	Discos ranurados	16 ranuras	
5	Sensores	Par Diodo emisor infrarrojo fototransistor	

10	Pulsadores. Arranque y parada	IDEA. Ref. XB2-EA121	P_1, \dots, P_{10}
1	Tarjeta electrónica. Medidor de Velocidad		

Anexo F. Inventario de partes del banco de pruebas del grupo motor-generador de corriente continua

Cant.	Descripción y aplicación	Datos de identificación	Designación
4	Breakers	LUMINEX 1 x 15 A	BR1 BR2 BR3 BR4
1	Contactor motor	Contactor LC1D1810 Idea Bobina 220 V 60 Hz + Contacto auxiliar LA1DN22 Telemecanique	CM
3	Contactores temporizados	Contactor LC1D0910 Idea Bobina 220 V 60 Hz + Bloque temporizado LA2DT2 Telemecanique	TR1 TR2 TR3

2	Contactores de relevo	Contactador LC1D0910 Idea Bobina 220 V 60 Hz	CR1 CR2
1	Contactador de relevo	Contactador LC1D1810 Idea Bobina 220 V 60 Hz + Contacto auxiliar LA1DN22 Telemecanique	CR3
1	Contactador generador	Contactador LC1D1810 Idea Bobina 220 V 60 Hz + Contacto auxiliar LA1DN11 Telemecanique	CG
2	Fusibles motor	DIAZED 500 V 16 A	F1 - F2
2	Fusibles generador	DIAZED 500 V 16 A	F3 – F4
2	Fusibles control	DIAZED 500 V 2 A	F5 – F6
1	Motor	AEG, 1.47 Kw, 220 V DC	

1	Generador	AEG, 1.47 Kw, 220 V DC	
2	Relés de sobrecarga	IDEA. LR2 D13 7 – 10 A	OL1 – OL2
1	Relé – Circuito de campo	BOSCH . 12 V DC, 30 A.	CP
1	Resistencia – Circuito de campo	220 Ω , 10 W	R
3	Resistencias – Arranque Motor	VITROM, 10.5 Ω , 14 A	r ₁ – r ₂ – r ₃
2	Reóstatos - excitación	OMITE . Inc 500 Ω 1.5 A	RH1 – RH2
1	Interruptor	Dos posiciones 1 A	S
4	Señales visuales	Ojo de buey. Bombillo 220 V	L ₉ – L ₁₀ L ₁₁ – L ₁₂
11	Señales visuales	Indicadores 120 V AC.	L ₁ -L ₂ -L ₃ -L ₄ L ₅ -L ₆ -L ₇ -L ₈ L ₁₃ -L ₁₄ -L ₁₅

1	Señal visual	Indicador 220 V AC	L ₁₆
4	Voltímetros.	CELSA, Universal, VDE Reg 605, 1.5, 300 V	V ₁ -V ₂ -V ₃ -V ₄
2	Amperímetros	CELSA, Universal, VDE Reg 605, 1.5, 50 A	A ₁ – A ₃
1	Amperímetro	CELSA, Universal, VDE Reg 605, 1 A	A ₂
1	Amperímetro	SIEMENS, Universal, VDE Reg 605, 1 A	A ₄
1	Tacómetro	WESTON, Mod 956	RPM
1	Tacogenerador	S.E.V. Marshal	TG
1	Puente rectificador trifásico	6 diodos. 50 A	
4	Pulsadores. Arranque - Parada	Telemecanique	P ₁ -P ₂ - P ₃ -P ₄
1	Pulsador. Parada de emergencia	Telemecanique	P ₅

Anexo G. Formato para registro de mantenimiento predictivo de máquinas pertenecientes al banco de pruebas de motores monofásicos

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MÁQUINAS BANCO DE PRUEBAS MOTORES MONOFÁSICO

PRUEBA		1	2	3	4	5	6	7	8
	Escriba valores en $M\Omega$								
Motor de fase partida									
Devanado de marcha									
Devanado auxiliar									
Motor con condensador permanente									
Devanado de marcha									
Devanado auxiliar									
Motor espiras de sombra									
Devanado de marcha									
Motor universal									
Armadura									
Devanado serie									
Motor trifásico									
Fase r-s									
Fase s-t									
Fase r-t									

	Escriba valores en Ω								
Motor de fase partida									
Devanado de marcha									
Devanado auxiliar									
Motor con condensador permanente									
Devanado de marcha									
Devanado auxiliar									
Motor espiras de sombra									
Devanado de marcha									
Motor universal									
Armadura									
Devanado serie									
Motor trifásico									
Fase r-s									
Fase s-t									
Fase r-t									

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MÁQUINAS BANCO DE PRUEBAS MOTORES MONOFÁ

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MÁQUINAS BANCO DE PRUEBAS GRUPO MOTOR – GENERADOR DE CORRIENTE

PRUEBA	SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8
--------	--------	---	---	---	---	---	---	---	---

Anexo G. Formato para registro de mantenimiento predictivo de máquinas pertenecientes al banco de pruebas de motores monofásicos

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MÁQUINAS BANCO DE PRUEBAS MOTORES MONOFÁSICO

PRUEBA		1	2	3	4	5	6	7	8
	Escriba valores en $M\Omega$								
Motor de fase partida									
Devanado de marcha									
Devanado auxiliar									
Motor con condensador permanente									
Devanado de marcha									
Devanado auxiliar									
Motor espiras de sombra									
Devanado de marcha									
Motor universal									
Armadura									
Devanado serie									
Motor trifásico									
Fase r-s									
Fase s-t									
Fase r-t									

	Escriba valores en Ω			
Motor de fase partida				
Devanado de marcha				
Devanado auxiliar				
Motor con condensador permanente				
Devanado de marcha				
Devanado auxiliar				
Motor espiras de sombra				
Devanado de marcha				
Motor universal				
Armadura				
Devanado serie				
Motor trifásico				
Fase r-s				
Fase s-t				
Fase r-t				

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MÁQUINAS BANCO DE PRUEBAS MOTORES MONOFÁ

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

MÁQUINAS BANCO DE PRUEBAS GRUPO MOTOR – GENERADOR DE CORRIENTE

PRUEBA	SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8
--------	--------	---	---	---	---	---	---	---	---

Anexo J. Formato para registro del mantenimiento predictivo de Elementos de maniobra del banco de pruebas de motores monofásicos

Anexo K. Formato para registro del mantenimiento predictivo de elementos de maniobra del banco de pruebas grupo motor – generador de cc

PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

ELEMENTOS DE MANIOBRAS DEL BANCO DE PRUEBAS GRUPO MOTOF

Colocar: B: Bien M: Mal

PRUEBA	SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Verificación de continuidad en pulsadores de arranque, parada y emergencia.																		
Verificación de continuidad y no continuidad en contactos NC y NO respectivamente																		
Verificación de resistencia de los reóstatos de excitación *																		
Verificación del valor óhmico de las resistencias de arranque *																		
Verificación de señales visuales del panel de control y plano eléctrico																		
Verificación de ruido o vibración en la armadura de los contactores al ser energizados																		
Verificación de los relés de sobrecarga y de los tiempos de temporización de los temporizadores.																		
Verificación del funcionamiento de los instrumentos de medición y fusibles																		

ANEXO L. Valores de resistencia óhmica de devanados de las máquinas pertenecientes a los bancos de prueba

1. Grupo motor - generador de cc.

DEVANADO	MOTOR (Ω)	GENERADOR (Ω)
Armadura	3.2	3.7
Interpolos	1.5	2.0
Serie serie	1.3	1.1
Serie compound	1.4	2.6
shunt	808	166.4

2. Motores monofásicos.

Motor monofásico de fase partida.

Devanados de marcha: 6.3Ω Devanado de arranque: 5.3Ω

Motor con condensador permanente:

Devanado de marcha: 7.7Ω Devanado de arranque: 35.5Ω

Motor espiras de sombra:

Devanado de marcha: 5Ω

Motor Universal:

Armadura: 15.8Ω Devanado serie: 5.4Ω

Motor trifásico:

Resistencia entre fases: $19.8 \Omega - 19.8 \Omega - 19.8 \Omega$

ANEXO M. Valores de resistencia de aislamiento a tierra de los devanados de las máquinas pertenecientes a los bancos de prueba

3. Grupo motor - generador de cc.

DEVANADO	MOTOR (MΩ)	GENERADOR (MΩ)
Armadura	1.9	1.8
Interpolos	2.5	2.2
Serie serie	2.6	2.7
Serie compound	2.4	2.6
shunt	2.2	2.4

4. Motores monofásicos.

Motor monofásico de fase partida.

Devanados de marcha: 2.9 MΩ Devanado de arranque: 2.3 MΩ

Motor con condensador permanente:

Devanado de marcha: 2.5 MΩ Devanado de arranque: 2.8. MΩ

Motor espiras de sombra:

Devanado de marcha: 2.9 MΩ

Motor Universal:

Armadura: 2.5 MΩ Devanado serie: 2.9 MΩ

Motor trifásico:

Por fase: 3.2 MΩ - 3.5 MΩ - 3.4 MΩ

BIBLIOGRAFÍA

CHAPMAN, Stephen J. Máquinas Eléctricas. 2ed. Santafé de Bogotá. Mc Graw Hill Interamericana S.A. 1993.

DAWES, Chester L. Tratado de electricidad. Tomo I. Corriente continua. Barcelona. Gustavo Gili S.A., 1966.

DAWES, Chester L. Tratado de electricidad. Tomo II. Corriente alterna. Barcelona. Gustavo Gili S.A. 1966.

ENCICLOPEDIA CEAC DE LA ELECTRICIDAD. Maniobra, mando y control eléctricos. Barcelona. CEAC. 1986

ENCICLOPEDIA CEAC DE LA ELECTRICIDAD. Máquinas motrices generadores de energía eléctrica. Barcelona. CEAC. 1986

ENCICLOPEDIA CEAC DE LA ELECTRICIDAD. Maquinas de corriente alterna. Barcelona. CEAC. 1986

ENCICLOPEDIA CEAC DE LA ELECTRICIDAD. Talleres Electromecánicos,
Rebobinados . Barcelona. CEAC. 1986

KOSOV, Irving L. Máquinas Eléctricas y Transformadores. 2ed. México.
Prentice Hall. 1993.

LANESDORF, Alexander S. Teoría de las máquinas de corriente alterna. México.
Mc Graw Hill. 1955.

ROSENBERG, Robert. Reparación de Motores Eléctricos. 3ed. Barcelona.
Gustavo Gili S.A. 1966.

**PLAN DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO DE
LOS BANCOS DE PRUEBA (MOTOR-GENERADOR DC - MOTORES
MONOFÁSICOS) DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

CARLOS ENRIQUE GUAL PEDROZO

CARLOS ALBERTO MORA MONTIEL

Objetivo de la investigación: diseñar e implementar un plan de mantenimiento correctivo, predictivo y preventivo de los bancos de pruebas de motores monofásicos y grupo motor – generador de corriente continua pertenecientes al laboratorio de máquinas eléctricas de la Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar.

Metodología: este trabajo por tratarse de un equipo perteneciente al laboratorio de máquinas eléctricas, es de tipo institucional cuasi experimental, ya que para su realización fue necesario obtener mediciones de diferentes variables a o largo de todo el proceso de construcción de los bancos. Así mismo fue indispensable la realización de numerosas pruebas de funcionamiento una vez construidos ambos de pruebas. La información recopilada para el diseño de los planes de mantenimiento predictivo y preventivo se obtuvo principalmente (60 %) de la experiencia de ingenieros y técnicos especializados en el mantenimiento y reparación de máquinas eléctricas. El resto de la información fue recolectada a través de la investigación en libros, manuales de mantenimiento y medios informativos como internet.

Resultados de la investigación:

- Ejecución del mantenimiento correctivo y preventivo de cada uno de los bancos de prueba seleccionados dejándolos en óptimo funcionamiento. Para cada banco se colocaron marquillas identificativas de sus elementos componentes.
- Diseño de un plan de mantenimiento preventivo y predictivo para cada uno de los bancos de pruebas en el que se ilustran los pasos a seguir en la ejecución del mantenimiento y formatos para el registro de los mismos.
- Elaboración de guías de laboratorio para cada uno de los bancos de pruebas de acuerdo a sus capacidades.
- Elaboración de planos eléctricos en material resistente ubicados en la parte frontal de cada banco con simbología eléctrica americana y con señales visuales que indican el estado de funcionamiento de cada uno de los elementos componentes del banco.
- Adecuación de las estructuras físicas de los bancos de prueba para un mejor aprovechamiento y conservación de los mismos.
- Informe escrito que contiene los planes de mantenimiento predictivo y preventivo, guías de laboratorio, fundamentación teórica para los laboratorios, inventario de partes y formatos para registro del mantenimiento predictivo de cada banco.

Síntesis de las conclusiones: La aplicación del plan de mantenimiento predictivo y preventivo expuesto en el trabajo, es requisito indispensable para preservar el capital invertido en el diseño y elaboración de los bancos de prueba, y así mismo del éxito de la institución en la preparación práctica de los estudiantes a través de los laboratorios de máquinas de corriente alterna y corriente continua.

Director: Ing. Luis Eduardo Rueda Rincón.

