

Instituto Politécnico Nacional

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL ZACATENCO

**Pruebas de Mantenimiento Básicas Para un Grupo
Motor de CA - Generador Síncrono de 15 kW**

Tesis

Que para obtener el título de:

Ingeniero Electricista

Presentan:

Bejero Piña Ricardo

López Núñez Quetzal

Asesores:

M.C. Tomás Ignacio Asiaín Olivares

M.C. Isabel Albarrán Carmona



México D.F. Mayo 2015

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LÓPEZ MATEOS"

TEMA DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN
DEBERA (N) DESARROLLAR

INGENIERO ELECTRICISTA
TESIS COLECTIVA Y EXAMEN ORAL INDIVIDUAL
RICARDO BEJERO PIÑA
QUETZAL LÓPEZ NUÑEZ

**"PRUEBAS DE MANTENIMIENTO BÁSICAS PARA UN GRUPO MOTOR C.A. - GENERADOR
SÍNCRONO DE 15 kW"**

LLEVAR Y CONSERVAR EN ÓPTIMAS CONDICIONES EL GRUPO ROTATORIO DEL MOTOR DE
INDUCCIÓN - GENERADOR SÍNCRONO PARA SU OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO.

- MOTOR DE INDUCCIÓN.
- GENERADOR SÍNCRONO.
- PRUEBAS BÁSICAS DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO A MÁQUINAS ELÉCTRICAS.
- MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL GRUPO MOTOR DE C.A. - GENERADOR SÍNCRONO Y PUESTA EN OPERACIÓN.
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

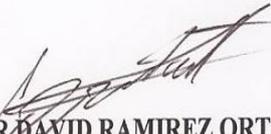
MÉXICO, D.F. A 25 DE MAYO DEL 2015.

ASESORES


M. EN C. TOMAS IGNACIO ASIAÍN OLIVARES


ING. EVARISTO VELÁZQUEZ CAZARES


M. EN C. ISABEL ALBARRAN CARMONA


ING. CESAR DAVID RAMIREZ ORTIZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Agradecimientos y dedicatoria

Al Instituto Politécnico Nacional que me abrió las puertas para poder realizar mi superación académica.

A la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, por darme un lugar en sus instalaciones y brindarme el personal académico que me brindó conocimiento a lo largo de mi estancia en la institución.

Al M. en C. Tomás Ignacio Asiaín Olivares.

Por aceptar este proyecto y brindarme tiempo, dedicación, esfuerzo, sabiduría y por haber obrado más allá de lo debido a lo largo de este proyecto, ya que sin su esfuerzo jamás hubiera podido realizar este proyecto tan importante en mi vida.

A mis padres, Martha Piña Coria y Marco Antonio Bejero Vázquez, por su apoyo incondicional en el trayecto de mi vida, su ejemplo como padres me ha cultivado la mejor educación que puede haber recibido, por jamás perder la esperanza en mí y por ayudarme a ejercer mi futuro.

A mis seres queridos, que gracias a su compañía día tras día me impulsa para ser una mejor persona. Gracias por su apoyo en todo momento y gracias por dejarme formar parte de sus vidas.

Bejero Piña Ricardo

Agradezco y dedico este trabajo a Dios, por permitirme aprender, entender y conocer un poco más la naturaleza de los fenómenos físicos que explican y nos revelan cómo es que funciona el universo, tu sabiduría no tiene medida.

Agradezco y dedico este trabajo a mi familia por su apoyo, en especial por el apoyo de mis padres, gracias por no dejarme claudicar, gracias por sus buenos consejos y gracias por el más grande regalo que me han dado para toda la vida.

Agradezco a todos mis profesores, porque sin ellos el conocimiento no se transmitiría, gracias por enseñarme todo lo que sé.

En especial agradezco a mis asesores, a la M.C. Isabel Albarrán Carmona y al M.C. Tomás Ignacio Asiaín Olivares, porque sin ellos este trabajo no hubiera sido posible.

López Núñez Quetzal

Resumen

Este trabajo de tesis se realizó para determinar si un grupo motor de CA - generador síncrono, que se encuentra ubicado en los laboratorios de pesados II en la ESIME ZACATENCO, se encontraba en condiciones para operar. Para poder realizar el diagnóstico del estado del equipo, se realizaron las pruebas de mantenimiento eléctricas básicas, las cuales fueron, la prueba de inspección visual, cortocircuito sostenido, prueba de resistencia óhmica de los devanados, resistencia de aislamiento e índice de polarización y prueba de impulso al primo motor de inducción y generador síncrono, los resultados obtenidos demostraron que el grupo se encontraba en condiciones para ponerse en operación lo que posteriormente se realizó con éxito. Se logró generar tensión y alimentar carga resistiva, capacitiva e inductiva. Aunado a esto la operación del grupo motor - generador contralado por medio de un controlador de velocidad, que controla la velocidad del primo motor ajustando la salida de la frecuencia del generador síncrono.

Se muestra una descripción de cómo se construye un motor de inducción, su principio de funcionamiento, una descripción de la estructura del motor, conceptos básicos para entender el funcionamiento de esta máquina eléctrica rotatoria.

De igual modo se describe el funcionamiento de un generador síncrono, que tipos de generadores existen, la descripción de cada uno, la diferencia que existe entre un generador de CC a un generador de CA, la construcción de un generador, voltajes internos producidos, la velocidad de rotación de un generador síncrono, y el funcionamiento del generador sin escobillas.

Por último se describen los pasos que se realizaron para el mantenimiento preventivo, las ventajas que existen al realizar este tipo de mantenimiento y recomendaciones para obtener buenos resultados al realizar el mantenimiento preventivo.

ÍNDICE

	Página
Agradecimientos y dedicatoria	III
Resumen.....	V
Lista de figuras	VIII
Lista de tablas.....	XI
Lista de ecuaciones	XII
Glosario de términos.....	XIII
Nomenclatura.....	XIV
Planteamiento del Problema	16
Justificación	17
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
Capítulo I	19
Motor de inducción.....	19
1.1 Introducción al motor de inducción.....	19
1.2 Principio de funcionamiento.....	19
1.3 Frecuencia eléctrica en el rotor	20
1.4 Partes de un motor de inducción.....	21
1.5 Curva característica del comportamiento de las máquinas de inducción	22
Capítulo II	24
Generador síncrono	24
2.1 Introducción al generador síncrono.....	24
2.2 Construcción del generador síncrono	24
2.3 Tipos de construcción.....	26
2.4 Tipos de diseños.....	26
2.5 Generador síncrono sin escobillas	27
2.6 Velocidad de rotación de un generador síncrono.....	29
2.7 Voltaje interno generado por un generador síncrono	30
2.8 Circuito equivalente de un generador síncrono.....	31
2.9 Diagrama fasorial de un generador síncrono.....	31
2.10 Diferencia de un generador de CC a un generador de CA	32
Capítulo III	36
Pruebas básicas de mantenimiento eléctrico a máquinas eléctricas	36

3.1	Introducción	36
3.2	Características del mantenimiento a las máquinas eléctricas	36
3.3	Prueba de inspección visual	37
3.4	Prueba de resistencia del aislamiento e índice de polarización	41
3.5	Prueba de resistencia óhmica	52
3.6	Prueba de ondas de choque o prueba de impulso	57
3.7	Prueba de cortocircuito sostenido	64
3.8	Diagnóstico del grupo motor de CA - Generador síncrono.....	65
Capitulo IV		67
Mantenimiento preventivo al grupo motor de CA - generador síncrono y puesta en operación		67
4.1	Mantenimiento preventivo	67
4.2	Aplicación del mantenimiento preventivo al grupo motor - generador	67
4.3	Puesta en operación del grupo motor CA - generador síncrono	78
4.4	Resultados de las pruebas de entrega	83
Prueba de resistencia óhmica		83
Prueba de impulso		85
Resistencia de aislamiento e índice de polarización		86
Capítulo V		89
Conclusiones y recomendaciones		89
5.1	Conclusiones.....	89
5.2	Recomendaciones	90
Referencias.....		91
Anexo		93
Glosario		95

Lista de figuras

	Página
<i>Ilustración 1. Desarrollo del par inducido en un motor de inducción. a) El campo rotacional del estator B_s induce voltaje en las barras del rotor; b) El voltaje del rotor produce un flujo de corriente en el rotor que atrasa el voltaje debido a la inductancia del mismo; c) La corriente del rotor produce un campo magnético en el rotor B_R que está a 90° detrás de ella, y B_R interactúa con B_{net} para producir en la máquina un par en sentido contrario a las manecillas del reloj. Fuente [Chapman, 2008].</i>	20
<i>Ilustración 2. Rotor jaula de ardilla. Fuente [(El motor asíncrono, 2014)].</i>	21
<i>Ilustración 3. Rotor devanado. Fuente [Wikipedia, 2014].</i>	22
<i>Ilustración 4. Partes de un motor de inducción. Fuente [Tecnología eléctrica, 2014].</i>	22
<i>Ilustración 5. Característica mecánica de un motor de inducción. Fuente [M.F. Cabanas, 1998].</i>	23
<i>Ilustración 6. Rotor de seis polos salientes en máquina síncrona. Fuente [Chapman, 2008].</i>	25
<i>Ilustración 7. Rotor de polos lisos en una máquina síncrona. (Chapman, 2008)</i>	25
<i>Ilustración 8. Partes de un generador síncrono. Fuente [monografías, 2013].</i>	26
<i>Ilustración 9. Excitatriz de diodos giratorios.</i>	27
<i>Ilustración 10. Diodos rectificadores del generador síncrono.</i>	28
<i>Ilustración 11. Partes del rotor del generador de CA sin escobillas.</i>	28
<i>Ilustración 12. Diagrama esquemático del rotor de generador síncrono sin escobillas.</i>	29
<i>Ilustración 13. Generador sin escobillas. Fuente [monografías, 2013].</i>	29
<i>Ilustración 14. Gráfica a) y gráfica b). Fuente [Chapman, 2008].</i>	31
<i>Ilustración 15. Diagrama fasorial de un generador síncrono con factor de potencia unitario. Fuente [Chapman, 2008]</i>	32
<i>Ilustración 16. Diagrama fasorial de un generador síncrono con factor de potencia a) en atraso y b) en adelanto. Fuente [Chapman, 2008]</i>	32
<i>Ilustración 17. Generador de corriente continua.</i>	33
<i>Ilustración 18. Generador de corriente alterna.</i>	34
<i>Ilustración 19. Inductor (rotor) de un generador de CA. Fuente [(Grupo electrógeno, 2014)].</i>	35
<i>Ilustración 20. Placa de características del generador de 15 KW.</i>	38
<i>Ilustración 21. Placa de características del motor de 20 HP.</i>	38
<i>Ilustración 22. Banda de acoplamiento del grupo motor - generador.</i>	39
<i>Ilustración 23. Interior del generador que se encuentra cubierto por una capa de polvo.</i>	40
<i>Ilustración 24. Partes del generador que se encuentran cubiertas por una capa de polvo.</i>	40
<i>Ilustración 25. Estator del motor de CA, cubierto por una capa de polvo.</i>	41
<i>Ilustración 26. Rotor del motor de CA.</i>	41
<i>Ilustración 27. Conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento al motor de inducción.</i>	46
<i>Ilustración 28. Diagrama de conexión para prueba de resistencia de aislamiento a carcasa (A) y carcasa a tierra (B) del motor de inducción.</i>	46
<i>Ilustración 29. Curva de incremento en la resistencia de aislamiento, fase con carcasa del motor.</i>	47
<i>Ilustración 30. Conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento al generador síncrono.</i>	48
<i>Ilustración 31. Diagrama de conexión para prueba de resistencia de aislamiento a carcasa (A) y carcasa a tierra (B) del generador síncrono.</i>	48
<i>Ilustración 32. Curva de incremento en la resistencia de aislamiento, fase con carcasa del generador.</i>	49
<i>Ilustración 33. Curva de la resistencia de aislamiento.</i>	52
<i>Ilustración 34. Puente con el que se midió la resistencia óhmica de los devanados (Manual. DIGITAL MICRO - OHMMETER 4300B., 2014).</i>	52

<i>Ilustración 35. Medición de los devanados del motor entre las fases “A” y “B”.</i>	53
<i>Ilustración 36. Valor obtenido de la resistencia de los devanados “A” y “B” (sin compensador de temperatura).</i>	53
<i>Ilustración 37. Valor obtenido de la resistencia de los devanados “B” y “C”, (corregido a una temperatura de 19°C).</i>	54
<i>Ilustración 38. Conexión del generador, obteniendo su resistencia óhmica entre la fase “A” y el neutro.</i>	55
<i>Ilustración 39. Valor obtenido de la resistencia óhmica del generador, de la fase “B” y neutro.</i>	55
<i>Ilustración 40. Conexión física del generador al puente universal para medir resistencias óhmicas de las fases.</i>	56
<i>Ilustración 41. Diagrama de conexión para la prueba de resistencia óhmica, de fase a fase del motor de 20HP.</i>	56
<i>Ilustración 42. Diagrama de conexión para la prueba de resistencia óhmica, entre fase y neutro del generador.</i>	57
<i>Ilustración 43. Esquema básico de ensayo de ondas de choque. Fuente. (M.F. Cabanas, 1998).</i>	59
<i>Ilustración 44. Forma de la onda para dos devanados sin falla, idénticos en prueba. Fuente (Manual. SURGER PREMIERE, 2014).</i>	59
<i>Ilustración 45. Forma de la onda para bobina defectuosa en prueba. (Manual. SURGER PREMIERE, 2014).</i>	59
<i>Ilustración 46. Test Lead Potential vs Test Lead Selection Switch Position</i>	60
<i>Ilustración 47. Equipo utilizado para la prueba de impulso (Manual. SURGER PREMIERE, 2014).</i>	61
<i>Ilustración 48. Conexiones del equipo de prueba al motor de inducción para la realización del ensayo.</i>	62
<i>Ilustración 49. Forma de onda obtenida para las pruebas de las fases del motor de inducción.</i>	62
<i>Ilustración 50. Forma de onda obtenida para el arreglo de fases “1 - 3”.</i>	63
<i>Ilustración 51. Diagrama de conexiones para el motor de CA, que se realizó para la prueba de ondas de choque.</i>	63
<i>Ilustración 52. Diagrama de conexiones para el generador síncrono, que se realizó para la prueba de ondas de choque.</i>	64
<i>Ilustración 53. Fases en cortocircuito para la eliminación de la humedad en los devanados.</i>	65
<i>Ilustración 54. Limpieza al estator del generador síncrono de 15 kW.</i>	68
<i>Ilustración 55. Desprendiendo el generador de la plataforma del grupo motor - generador, por medio del polipasto.</i>	69
<i>Ilustración 56. Extracción del rotor del generador síncrono.</i>	69
<i>Ilustración 57. Aplicación de pintura dieléctrica al generador síncrono.</i>	70
<i>Ilustración 58. Rotor del generador síncrono, con la aplicación de pintura y de valeros nuevos.</i>	71
<i>Ilustración 59. Limpieza con brocha y aire comprimido al estator del motor de 20 HP.</i>	71
<i>Ilustración 60. Limpieza al rotor del motor de 20HP.</i>	72
<i>Ilustración 61. Retirando la tapa del motor de 20 HP.</i>	73
<i>Ilustración 62. Lijando al grupo motor - generador.</i>	73
<i>Ilustración 63. Aplicación de la pintura al motor de 20HP, por medio de pintura en aéreo sol.</i>	74
<i>Ilustración 64. Pintando las partes del grupo motor - generador.</i>	74
<i>Ilustración 65. Conductores de las fases afectados por la carcasa del generador.</i>	75
<i>Ilustración 66. Sustitución de las cintas aislantes viejas, por cintas aislantes nuevas.</i>	76
<i>Ilustración 67. Grupo motor de CA - generador síncrono después de haber realizado un mantenimiento preventivo.</i>	77
<i>Ilustración 68. Comparación de las poleas del grupo motor generador. A) Poleas y banda de acoplamiento antes de realizar el mantenimiento. B) Poleas y banda de acoplamiento después de haber realizado el mantenimiento.</i>	77
<i>Ilustración 69. Comparación del grupo motor - generador. A) Grupo motor generador antes de realizar el mantenimiento. B) Grupo motor - generador después de haberle realizado el mantenimiento.</i>	78
<i>Ilustración 70. Diagrama de conexiones para el arranque del grupo - motor generador síncrono.</i>	78

<i>Ilustración 71. Conexión de arranque del grupo motor generador síncrono.</i>	79
<i>Ilustración 72. Medición de las revoluciones por minuto (rpm) del grupo - motor generador síncrono por medio de un tacómetro digital.</i>	79
<i>Ilustración 73. Diagrama de conexiones con el control de velocidad "drive", para el ajuste de la frecuencia de salida del generador síncrono con carga.</i>	80
<i>Ilustración 74. "Drive" utilizado para el control de velocidad en el primo motor del generador síncrono.</i>	81
<i>Ilustración 75. Valores obtenidos de tensión y frecuencia entre fases, conectado a una carga resistiva.</i>	81
<i>Ilustración 76. Control de la frecuencia por medio del "drive" [Manual. BALDOR DRIVERS VS1MD, 2014].</i>	82
<i>Ilustración 77. KW obtenidos del generador, por medio de un analizador de calidad eléctrica "Pad".</i>	82
<i>Ilustración 78. Corriente que consume el motor con carga. Se obtuvo el valor por medio de un amperímetro de gancho [Manual. MIC 2060 CA. 2014].</i>	83
<i>Ilustración 79. Prueba de resistencia óhmica al motor de inducción (prueba de entrega).</i>	84
<i>Ilustración 80. Prueba de resistencia óhmica al generador síncrono (prueba de entrega).</i>	84
<i>Ilustración 81. Curva de la resistencia de aislamiento.</i>	88
<i>Ilustración 82. Sistema de protección de poleas y banda.</i>	93
<i>Ilustración 83. Sistema propuesto para la protección de poleas y banda (A).</i>	94
<i>Ilustración 84. Sistema propuesto para la protección de poleas y banda (B).</i>	94

Lista de tablas

	Página
<i>Tabla 1. Valores predeterminados por el estándar. [Board, 2008].</i>	42
<i>Tabla 2. Aislamiento mínimo, después de un minuto y a una temperatura de 40°.</i>	43
<i>Tabla 3. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el motor de inducción.</i>	47
<i>Tabla 4. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el generador síncrono.</i>	48
<i>Tabla 5. Estado del aislante según el índice de polarización [AEMC, 2014].</i>	51
<i>Tabla 6. Resultados obtenidos del índice de polarización del motor de inducción y generador síncrono.</i>	51
<i>Tabla 7. Valores obtenidos de las resistencias óhmicas entre las fases del motor con el puente universal.</i>	57
<i>Tabla 8. Valores obtenidos de las resistencias óhmicas de los devanados del generador, entre fases y neutro.</i>	57
<i>Tabla 9. Valor obtenido de la resistencia óhmica del campo del generador.</i>	57
<i>Tabla 10. Resultados obtenidos de las pruebas de mantenimiento básicas.</i>	66
<i>Tabla 11. Valores obtenidos al arrancar por primera vez el grupo motor generador síncrono.</i>	79
<i>Tabla 12. Resultados obtenidos por medio de la conexión del drive en el grupo - motor generador síncrono.</i>	80
<i>Tabla 13. Valores obtenidos de las resistencias óhmicas entre las fases del motor con el puente universal.</i>	83
<i>Tabla 14. Obtenidos de las resistencias óhmicas de los devanados del generador, entre fases y neutro.</i>	84
<i>Tabla 15. Valor obtenido de la resistencia óhmica del campo del generador.</i>	85
<i>Tabla 16. Valores obtenidos de la prueba de impulso para el motor de CA.</i>	85
<i>Tabla 17. Valores obtenidos de la prueba de impulso para el generador síncrono.</i>	85
<i>Tabla 18. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el motor de inducción.</i>	86
<i>Tabla 19. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el generador síncrono.</i>	86
<i>Tabla 20. Resultados obtenidos del índice de polarización del motor de inducción y generador síncrono.</i>	87
<i>Tabla 21. Resultados obtenidos del índice de polarización del campo del generador síncrono.</i>	87

Lista de ecuaciones

	Página
<i>Ecuación 1</i>	19
<i>Ecuación 2</i>	19
<i>Ecuación 3</i>	20
<i>Ecuación 4. Deslizamiento del rotor. Fuente [Chapman, 2008]</i>	21
<i>Ecuación 5. La frecuencia del rotor. Fuente [Chapman, 2008]</i>	21
<i>Ecuación 6</i>	29
<i>Ecuación 7</i>	30
<i>Ecuación 8</i>	30
<i>Ecuación 9</i>	30
<i>Ecuación 10</i>	30
<i>Ecuación 11</i>	32
<i>Ecuación 12</i>	44
<i>Ecuación 13</i>	49
<i>Ecuación 14</i>	50

Glosario de términos

CA = Corriente alterna.

CD = Corriente directa.

CC = Corriente continua.

F.E.M. = Fuerza electromotriz.

IP = Índice de polarización.

Nomenclatura

V = Tensión eléctrica.

I = Corriente eléctrica.

E = Tensión inducida.

$^{\circ}\text{C}$ = Grados Celsius.

Δ = Conexión delta.

Y = Conexión estrella.

KW = Kilowatt o Kilovatio (W).

KVA = Kilovoltiamperio (VA).

e = Voltaje inducido.

\emptyset = Flujo magnético, weber (Wb).

$d\emptyset$ = Valor del flujo magnético.

dt = Variación del flujo magnético

N_r = Velocidad del rotor.

N_s = Velocidad de sincronismo.

f_e = Frecuencia del sistema en Hertz.

P = Número de polos de la máquina.

B_s = Campo magnético rotacional del estator.

V = Velocidad de la barra, relativa al magnético.

B = Vector de densidad de flujo magnético.

L = Longitud del conductor en el campo magnético.

B_R = Campo magnético en el rotor.

B_s = Voltaje inducido máximo.

I_s = Corriente inducida máxima.

E_R = Voltaje neto.

R_t = La resistencia de aislamiento en el instante t minutos.

I_t = La corriente total medida luego de t minutos.

E_A = La magnitud del voltaje inducido en un estator.

n_m = Velocidad mecánica del campo magnético en r/min (igual a la velocidad del rotor para las máquinas síncronas).

K = Constante que representa la construcción de la máquina.

I_f = La corriente del circuito de campo.

V_ϕ = Voltaje de salida de las terminales del generador.

R_m = Valor mínimo recomendado de resistencia de aislamiento (en megaohms) a la temperatura base.

kV = Valor eficaz de la tensión nominal de la máquina en kilovolts.

R_m = Valor mínimo de la resistencia.

ω = Velocidad angular (en **rad/s**).

Planteamiento del Problema

El grupo rotatorio motor de inducción - generador síncrono, que se encuentra ubicado en las instalaciones de los laboratorios de pesados II de la ESIME Zacatenco. Estuvo sin operar y no ha tenido mantenimiento en varios años.

En un primer diagnóstico visual se detectó que el equipo contaba con todas sus partes y placa de datos, pero algunas de estas partes se encontraron deterioradas, sucias, oxidadas y el equipo esta acoplado por poleas por medio de una banda que tiene uso considerable. No se tiene registro de cuándo fue la última vez que se realizó un mantenimiento al equipo para que siguiera en óptimas condiciones, ni cuándo fue la última vez que opero.

Con los resultados del primer diagnóstico se pudo concluir que el equipo puede estar en condiciones de operar, no sin antes haber realizado el mantenimiento correspondiente y este se verifica por medio de las pruebas eléctricas que se realizarán y con estas se determinará en qué estado se encuentra dicho equipo para su operación en forma inmediata.

Por tal motivo en este trabajo de tesis se muestra el proceso de mantenimiento, con pruebas de recepción, verificación y de entrega.

Justificación

En los laboratorios de pesados II de la ESIME Zacatenco se encuentra ubicado un grupo motor de inducción - generador síncrono que se encuentra fuera de servicio; en este trabajo se realizará un diagnóstico al equipo mediante pruebas básicas de mantenimiento. Con esto se tendrá un diagnóstico inicial de las condiciones en las que se encuentra este equipo, ya que este se pondrá en servicio para beneficio de la comunidad tanto de alumnos como de profesores.

Debido a que el grupo rotatorio a estado sin operación durante varios años presenta un deterioro externo superficial, mencionando algunos como; Desgaste y desprendimiento de pintura, suciedad sobre el equipo y conductores de conexión en mal estado, se sabe que las partes eléctricas y mecánicas del equipo están en condiciones para operar, ya que el grupo motor - generador dejo de funcionar por cambio de instalaciones, lo que lleva a aplicar las pruebas básicas necesarias de mantenimiento para poder utilizar al equipo. Una vez realizadas estas pruebas se hará una comparación de las condiciones en las que se encontraba y de las condiciones nuevas del grupo.

Su finalidad es que beneficie a la comunidad politécnica ya que al ponerlo en operación nuevamente podrá ser utilizado en pruebas a equipos de baja capacidad como son motores, transformadores y otros equipos que están dentro del laboratorio. De esta manera podrá realizar pruebas eléctricas con capacidades específicas de tensión, corriente y frecuencia, generados por el grupo motor de inducción - generador síncrono de corriente alterna (CA), y podrá ser operado, alimentando el motor con tensión regulada de CA y posteriormente mediante un controlador de velocidad, además podrá ser manipulado con facilidad ya que se le instalará un sistema de llantas para hacer más fácil su desplazamiento.

Objetivo General

Llevar y conservar en óptimas condiciones el grupo rotatorio del motor de inducción - generador síncrono para su operación y funcionamiento.

Objetivos Específicos

- Realizar inspección visual al equipo y hacer un primer diagnóstico.
- Documentar las características del grupo motor - generador síncrono de CA.
- Aplicar las pruebas básicas de mantenimiento para generar un diagnóstico del estado del grupo motor - generador para ponerlo en operación.
- Puesta en operación del grupo motor - generador.

Capítulo I

Motor de inducción

1.1 Introducción al motor de inducción

Los motores de inducción se utilizan en el accionamiento de todo tipo de máquinas rotatorias; Bombas, ventiladores, máquinas - herramientas, molinos etc. Su uso generalizado se debe a su simplicidad constructiva que las hace más simples, económicas y robustas que los otros tipos de máquinas eléctricas rotativas.

1.2 Principio de funcionamiento

Los motores de inducción presentan en el estator un devanado trifásico alimentado mediante un sistema trifásico de tensiones, el cual genera un campo giratorio. El rotor, parte móvil de la máquina, está formado por un conjunto de espiras (rotor devanado) o barras (rotor jaula de ardilla), en cortocircuito. Puesto que el estator crea un campo giratorio, el flujo abarcado por las espiras o barras del motor será variable y por tanto en él se inducirá fuerza electromotriz tal y como indica la ley de Lenz, "la fuerza electromotriz inducida debe ser tal que tienda a establecer una corriente por el circuito magnético que se oponga la variación de flujo que la produce", la cual es expresada en la ecuación 1.

$$e = -n \frac{d\phi}{dt}$$

Ecuación 1.

Al estar las espiras del rotor en cortocircuito, la fuerza electromotriz inducida provocara la circulación de corriente por ellas. Entonces, la presencia de conductores atravesados por corriente eléctrica en el seno de un campo magnético dará lugar a la aparición de una fuerza tangencial sobre cada espira del rotor que responderá a la ley de Biot y Savart (efecto motor), la cual es expresada en la ecuación 2.

$$dF = i * [dl \wedge B]$$

Ecuación 2.

Puesto que según la ley de Lenz la fuerza electromotriz inducida debe oponerse a las variaciones del flujo que la crea, la circulación de las corrientes será tal que trate de hacer girar al rotor en el mismo sentido que el campo giratorio ya que, de este modo, se reduce la variación del flujo abarcado por las espiras del primero. Es decir, la fuerza expresada en la ecuación anterior producirá un par motor, incluso cuando la máquina este inicialmente parada.

Según el principio de funcionamiento expuesto, la máquina de inducción siempre girara a una velocidad inferior a la del campo giratorio, ya que si ambas velocidades llegasen a igualarse, desaparecería la fuerza electromotriz inducida y, por tanto, el par motor. A la velocidad de giro del campo se la llama velocidad de sincronismo y sólo depende de la frecuencia de las corrientes de alimentación y del número de polos del motor. Pudiendo obtenerse mediante la expresión presentada en la ecuación 3:

$$n_{\text{sinc}} = \frac{120 f e}{p}$$

Ecuación 3.

La ilustración 1 muestra los diagramas vectoriales para el desarrollo del par inducido en un motor de inducción.

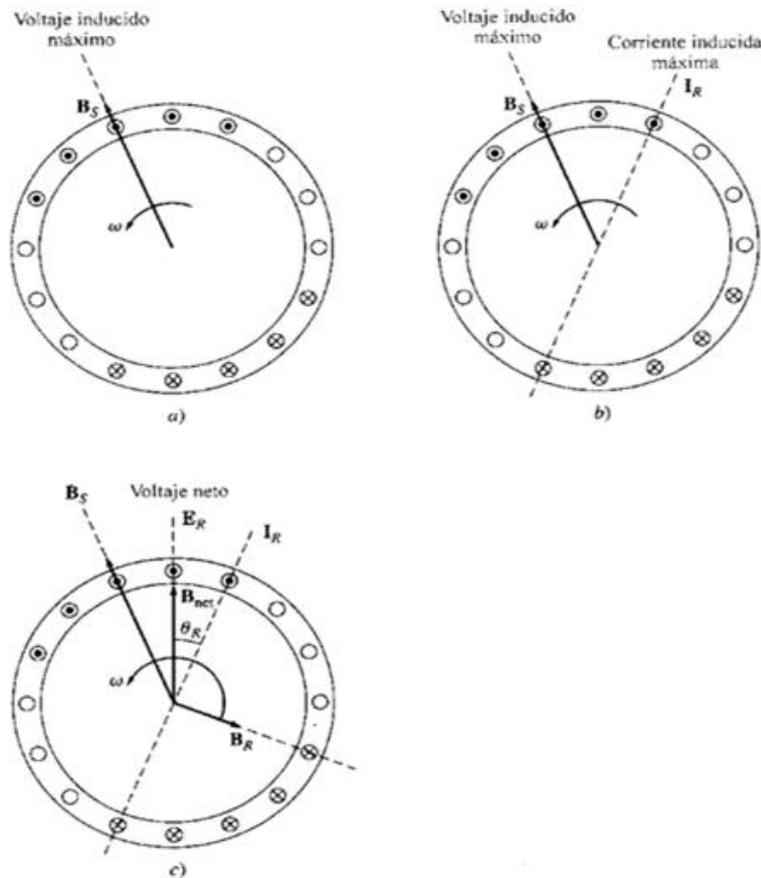


Ilustración 1. Desarrollo del par inducido en un motor de inducción. a) El campo rotacional del estator B_s induce voltaje en las barras del rotor; b) El voltaje del rotor produce un flujo de corriente en el rotor que atrasa el voltaje debido a la inductancia del mismo; c) La corriente del rotor produce un campo magnético en el rotor B_R que está a 90° detrás de ella, y B_R interactúa con B_{net} para producir en la máquina un par en sentido contrario a las manecillas del reloj. Fuente [Chapman, 2008].

1.3 Frecuencia eléctrica en el rotor

Un motor de inducción trabaja induciendo tensiones y corrientes en el rotor de la máquina; por esta razón, a veces se le llama transformador rotante. Como transformador, el primario (estator) induce un voltaje en el secundario (rotor) pero, a diferencia del transformador, la frecuencia secundaria no es necesariamente la misma que la frecuencia primaria.

Si el rotor de un motor está bloqueado tal que no puede moverse, el rotor tendrá la misma frecuencia que el estator. Por el contrario, si el rotor gira a velocidad sincrónica, la frecuencia en el rotor será cero.

A $n_m = 0$ r/min, la frecuencia del rotor es $f_r = f_e$, y el deslizamiento $s = 1$. A $n_m = n_{sinc}$, la frecuencia del rotor es $f_r = 0$ Hertz, el deslizamiento es $s = 0$. Para cualquier velocidad intermedia, la frecuencia del rotor es directamente proporcional a la diferencia entre la velocidad del campo magnético n_{sinc} y la velocidad del rotor n_m . Puesto que el deslizamiento del rotor está definido como se puede observar en la ecuación 4:

$$S = \frac{n_{sinc} - n_m}{n_{sinc}}$$

Ecuación 4. Deslizamiento del rotor. Fuente [Chapman, 2008].

La frecuencia del rotor puede ser expresada como la ecuación 5:

$$f_r = S f_e$$

Ecuación 5. La frecuencia del rotor. Fuente [Chapman, 2008].

1.4 Partes de un motor de inducción

El motor trifásico de inducción, como todas las máquinas eléctricas consta de dos partes bien diferenciadas como son la parte fija o estator y la parte giratoria o rotor. Ambas se encuentran separadas por un pequeño espacio libre que recibe el nombre de entrehierro, y que permite el libre giro del rotor en el interior de la máquina. El estator está formado por un núcleo de chapas magnéticas aisladas y apiladas, con un devanado trifásico situado en unas ranuras practicadas en la superficie interior.

Existen dos tipos de rotores que pueden disponerse dentro del estator del motor de inducción. El primero es llamado rotor de jaula de ardilla y el segundo es llamado rotor devanado.

En la ilustración 2 se muestran las partes de un rotor jaula de ardilla (1) y se puede observar como es físicamente un rotor jaula de ardilla (2).



Ilustración 2. Rotor jaula de ardilla. Fuente [(El motor asíncrono, 2014)].

La ilustración 3 muestra las partes de un rotor devanado (1) y también se observa como es físicamente este rotor (2).

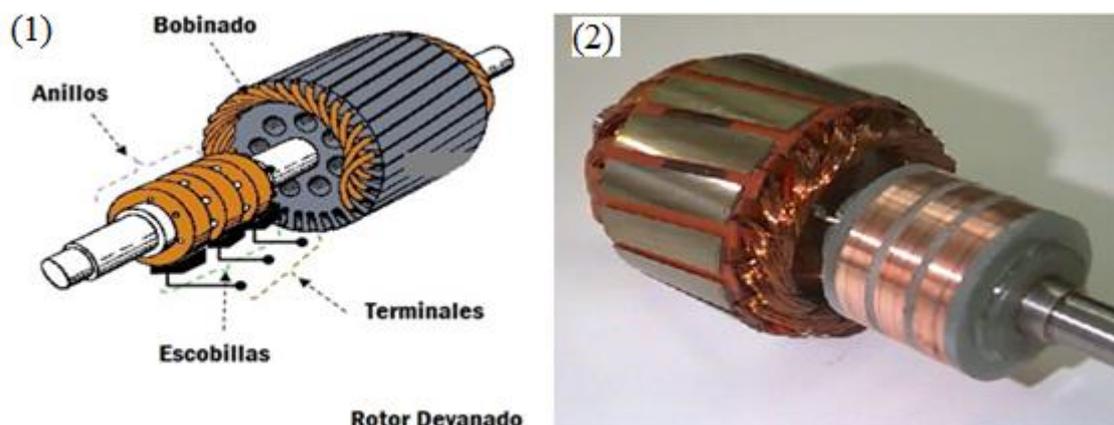


Ilustración 3. Rotor devanado. Fuente [Wikipedia, 2014].

En el rotor jaula de ardilla, se emplean unos conductores uniformemente distribuidos por las ranuras periféricas del rotor, normalmente barras de cobre o aluminio desnudas, cuyos extremos se cortocircuitan por medio de unos anillos denominados anillos de cortocircuito

El rotor devanado, sin embargo, está formado por un devanado trifásico similar al estático. Las tres fases se suelen conectar en estrella y los terminales libres se conectan a unos anillos aislados entre sí y del eje, sobre los que deslizan unas escobillas. Este segundo tipo de rotor es mucho menos frecuente que el primero y suele ser exclusivo de motores de una gran potencia y tamaño.

En la ilustración 4 se muestra un motor de inducción en donde se identifican las partes de las que se compone.

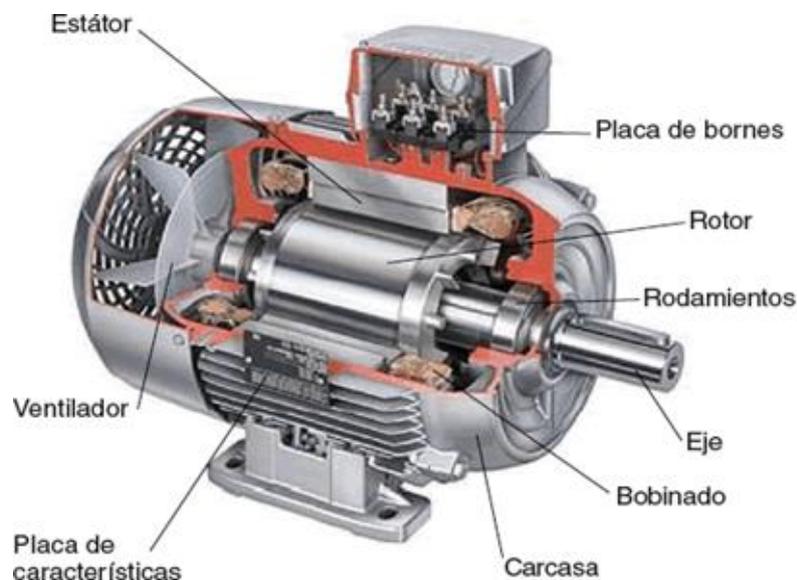


Ilustración 4. Partes de un motor de inducción. Fuente [Tecnología eléctrica, 2014].

1.5 Curva característica del comportamiento de las máquinas de inducción

De todas las funciones que representan las variables de un motor eléctrico, sin duda, es la característica mecánica el dato que más y mejor información aporta sobre su comportamiento. Consiste en la representación de la curva par - velocidad, cuando la máquina está alimentada a su tensión y frecuencia nominales. En la figura siguiente se presenta la característica mecánica de un motor de inducción en la que se han señalado los puntos más significativos y las tres posibles zonas de trabajo. En ella se puede apreciar como los puntos de mayor interés son los siguientes:

- Par de arranque: par que desarrolla el motor con velocidad nula.
- Par máximo: el mayor que podrá desarrollar el motor
- Par nominal: el desarrollo a la velocidad nominal

En la ilustración 5 se muestra la curva del par de arranque de un motor de inducción.

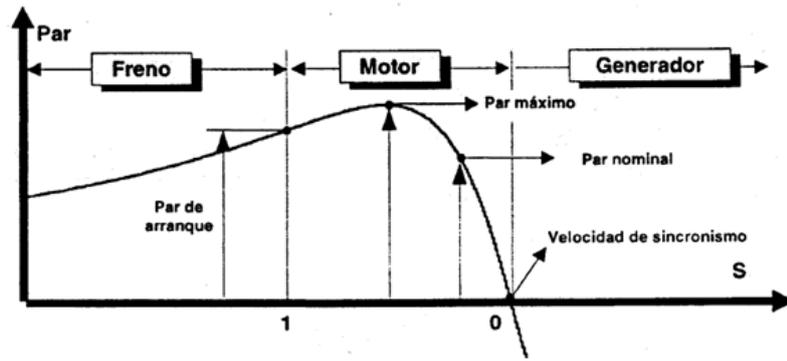


Ilustración 5. Característica mecánica de un motor de inducción. Fuente [M.F. Cabanas, 1998].

Capítulo II

Generador síncrono

2.1 Introducción al generador síncrono

El generador síncrono o también llamado alternadores es un tipo de máquina eléctrica rotativa capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica. A este también se le conoce como máquina síncrona, la razón por la que se llama generador síncrono es la igualdad entre la frecuencia eléctrica como la frecuencia angular es decir el generador girara a la velocidad del campo magnético y a esta igualdad de frecuencias se le denomina sincronismo. Los generadores se construyen a diferentes capacidades para satisfacer diferentes cargas y necesidades del cliente. Constan fundamentalmente del rotor y el estator, ambos con sus devanados. Las necesidades del proceso a realizar determinaran los tipos de conexión, procesos de producción y accesorios.

2.2 Construcción del generador síncrono

El generador síncrono está compuesto principalmente de una parte móvil o rotor y de una parte fija o estator, el principio de funcionamiento de un generador síncrono se basa en la ley de Faraday. Para crear tensión inducida en el (estator), se debe crear un campo magnético en el rotor o circuito de campo, esto se logra alimentado el rotor con una fuente variable de tensión de corriente continua, este campo magnético inducirá una tensión en el devanado del estator por lo que se tendrá una tensión en terminales del estator.

El generador puede operar aislado o estar conectado a la red eléctrica, y entonces a la frecuencia y tensión de la red.

Para que la máquina síncrona sea capaz de efectivamente convertir energía mecánica, es necesario que el enrollamiento de campo localizado en el rotor de la máquina sea alimentado por una fuente de tensión continua de forma que al girar el campo magnético generado por los polos del rotor se tenga un movimiento relativo a los conductores de los enrollamientos del estator y debido a ese movimiento relativo entre el campo magnético de los polos del rotor, la intensidad del campo magnético que atraviesa los enrollamientos del estator varia con el tiempo, y así se logra por la ley de Faraday una inducción de tensiones en las terminales de los devanados del estator.

Debido a distribución y disposición espacial del conjunto de devanados del estator, las tensiones inducidas en sus terminales serán alternas senoidales trifásicas.

Se conoce que la corriente eléctrica utilizada para alimentar el campo es denominada corriente de excitación.

En la ilustración 6 se muestra un rotor de generador síncrono de polos salientes.

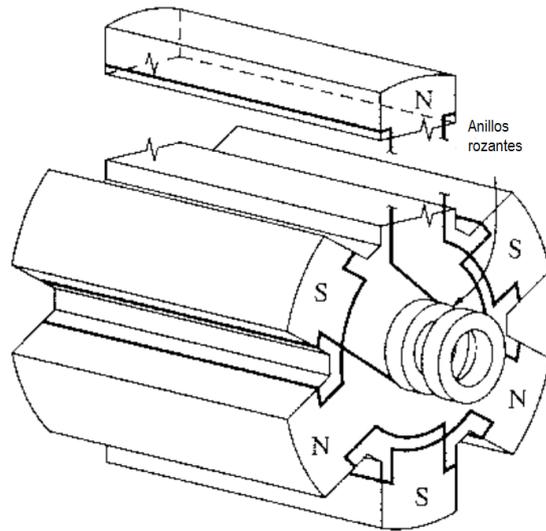


Ilustración 6. Rotor de seis polos salientes en máquina síncrona. Fuente [Chapman, 2008].

En la ilustración 7 se muestra un rotor de un generador síncrono de polos lisos.

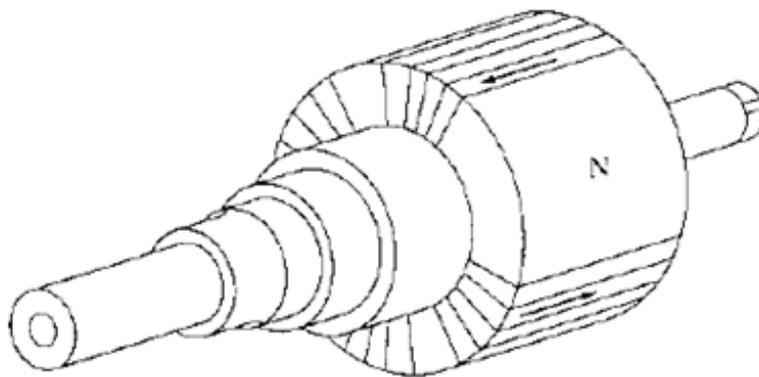


Ilustración 7. Rotor de polos lisos en una máquina síncrona. (Chapman, 2008)

En la ilustración 8 se muestra el conjunto de partes que conforman al generador síncrono. Donde se puede observar en donde esta cada componente del generador síncrono, tales como el rotor, estator, campo, turbina y la carcasa.

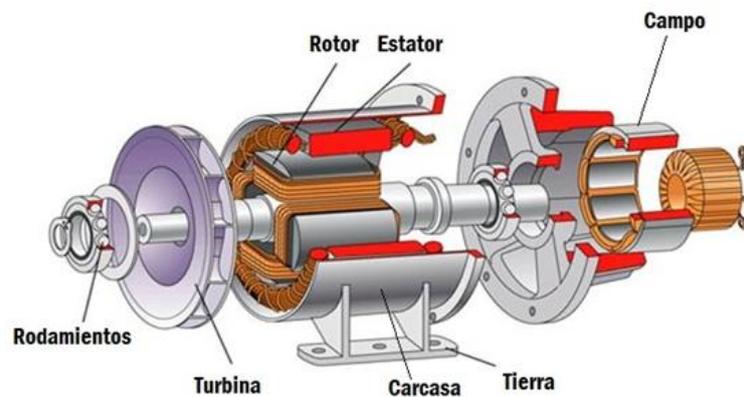


Ilustración 8. Partes de un generador síncrono. Fuente [monografías, 2013].

2.3 Tipos de construcción

La principal diferencia entre los diferentes tipos de generadores síncronos, se encuentra en su sistema de alimentación, que es continua para la fuente de excitación que está situada en el rotor y si es de polos lisos o salientes. En el caso de la excitación esta puede ser:

Excitación Independiente: Excitatriz independiente de continua que alimenta el rotor a través de un juego de anillos rozantes y escobillas.

Excitatriz principal y excitatriz piloto: La máquina principal de continua tiene como bobinado de campo otra máquina de excitación independiente, accionada por el mismo eje.

Electrónica de potencia: Directamente, desde la salida trifásica del generador, se rectifica la señal mediante un rectificador controlado, y desde el mismo se alimenta directamente en continua el rotor mediante un juego de contactos (anillos y escobillas). El arranque inicial se efectúa utilizando una fuente auxiliar (batería) hasta conseguir arrancar.

Sin escobillas, o diodos giratorios: La fuente de continua es un rectificador no controlado situado en el mismo rotor (dentro del mismo) alimentado en alterna por un generador situado también en el mismo eje y cuyo bobinado de campo es excitado desde un rectificador controlado que rectifica la señal generada por el giro de unos imanes permanentes situados en el mismo rotor (que constituyen la excitatriz piloto de alterna).

Excitación estática: Consiste en un devanado de campo y que es alimentado desde una fuente de alimentación a transformador y rectificadores, toma la tensión y corriente de salida del estator. El transformador, de tipo especial, posee dos devanados primarios, llamados de tensión e intensidad, que se conectan en paralelo y en serie a los bornes de salida del estator. El transformador convierte la tensión de salida a una más baja (30V aproximadamente), que se rectifica y aplica al rotor por medio de escobillas y anillos deslizantes. Es un sistema con autorregulación intrínseca, ya que al tener el bobinado serie, al aumentar el consumo sobre el generador, aumenta el flujo del transformador y por lo tanto aumenta la excitación del generador.

2.4 Tipos de diseños

Los diferentes tipos de construcción de generadores síncronos son los siguientes:

- De polos salientes en el estator

- De polos salientes en el motor
- Generador sin escobillas

2.5 Generador síncrono sin escobillas

Este generador presenta en el rotor de la excitatriz un puente de diodos rectificador giratorio, el cual se utiliza en los generadores sin escobillas. Permite que la salida del voltaje del generador sea más confiable y fácil de mantener. La excitatriz es un pequeño generador trifásico cuya salida se aplica al sistema rectificador trifásico de onda completa para suministrar la corriente directa a través de los polos positivo y negativo al campo principal del generador.

Utilizan unos diodos semiconductores que tienen una unión íntima de dos placas de material semiconductor que han sido impurificadas por dos elementos diferentes con el fin de que una de ellas adquiera un carácter positivo y la otra un carácter negativo, los elementos empleados para fabricar diodos semiconductores son el selenio, germanio y silicio, en la actualidad se emplea el silicio solamente, debido a las mayores ventajas que aporta con respecto al germanio y al selenio. El diodo de silicio puede soportar más tensión inversa, estos diodos son los más utilizados en los rectificadores de potencia.

En la ilustración 9 se muestra físicamente la excitación del rotor sin escobillas por medio de un puente de diodos giratorios.



Ilustración 9. Excitatriz de diodos giratorios colocados en la flecha.

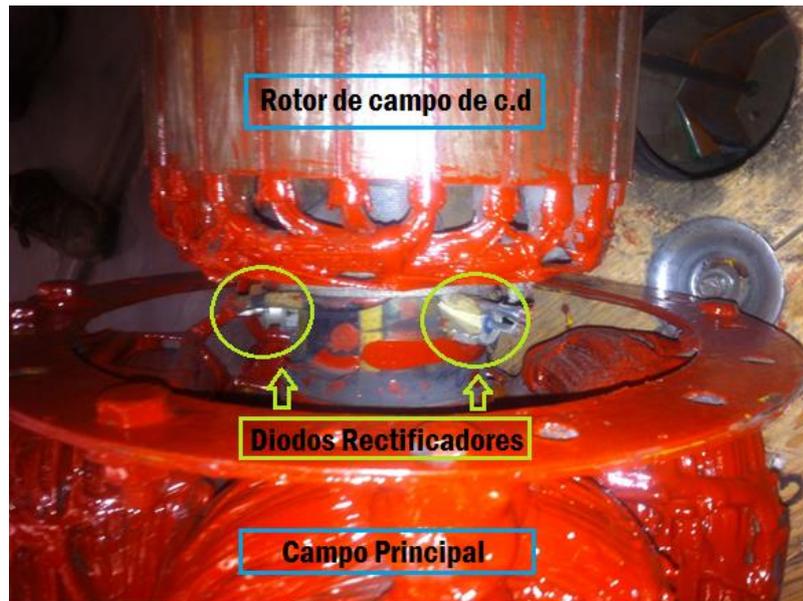


Ilustración 10. Diodos rectificadores del generador síncrono.

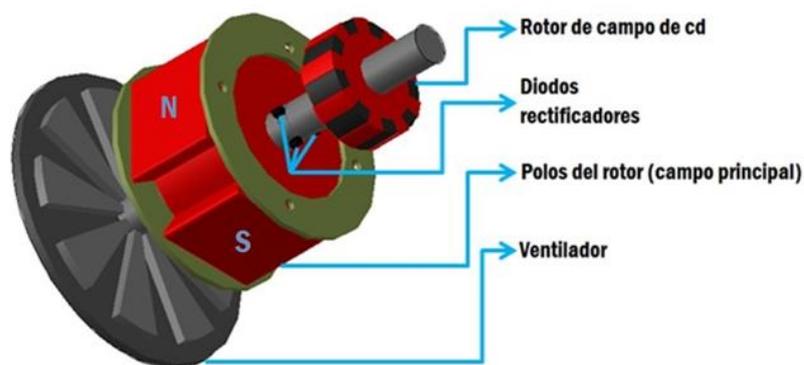


Ilustración 11. Partes del rotor del generador de CA sin escobillas.

En las ilustraciones 10 y 11, se muestran los diodos rectificadores que hacen la transformación de la corriente de corriente directa (CD) que se suministra al campo principal y lo transforma a corriente alterna en el campo principal.

En la ilustración 12 se muestra el esquema eléctrico de un grupo motor - generador sin escobillas. Este esquema es un claro ejemplo de cómo es el grupo motor de CA - generador síncrono con el que se realizarán las pruebas eléctricas de mantenimiento, así como en el esquema de la ilustración 13.

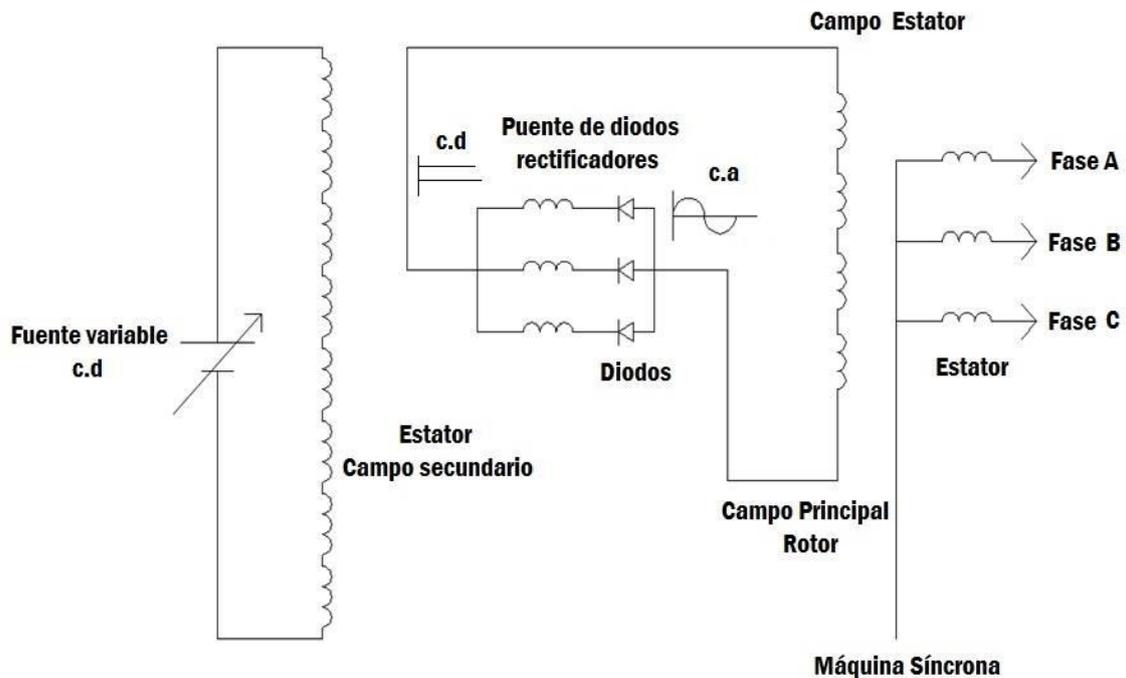


Ilustración 12. Diagrama esquemático del rotor de generador síncrono sin escobillas.

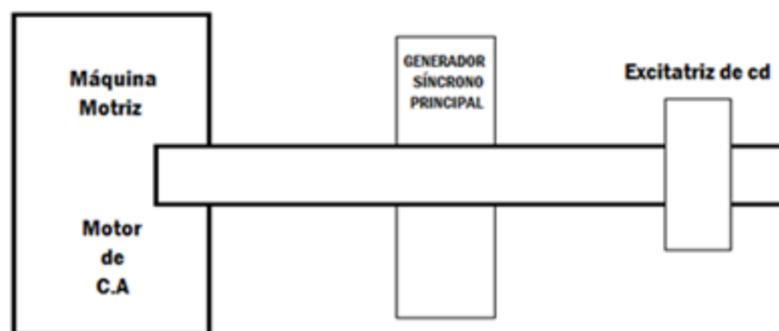


Ilustración 13. Generador sin escobillas. Fuente [monografías, 2013].

Este tipo de generador es de mediana potencia, para su excitación se utilizó una fuente de corriente continua para inyectar corriente al devanado de campo secundario, esta corriente, se traslada del campo secundario al puente rectificador, transformando la C.C en C.A, excitando el devanado de campo principal en el rotor, este crea una tensión trifásica que se induce en los devanados del estator y posteriormente genera una tensión entre las fases y el neutro del generador.

2.6 Velocidad de rotación de un generador síncrono

El nombre de síncrono se le da a este tipo de generadores, porque la frecuencia eléctrica producida está sincronizada con la tasa mecánica de rotación del generador. El rotor del generador consta de un electroimán el cual entrega corriente directa. El campo magnético del rotor apunta en cualquier dirección según gire la tasa el rotor. La relación entre de giro de los campos magnéticos y de la frecuencia eléctrica del estator se expresa en la ecuación 6.

$$f_e = \frac{n_m P}{120}$$

Ecuación 6.

Dónde:

f_e = Frecuencia eléctrica, en Hz.

n_m = Velocidad mecánica del campo magnético en r/min.

P = Número de polos.

Puesto que el rotor gira con la misma velocidad que el campo magnético, esta ecuación relaciona la velocidad de rotación del rotor con la frecuencia eléctrica resultante. Dado que la potencia eléctrica es generada a 50 ó 60 Hz, el generador debe girar a una velocidad fija que depende del número de polos, el rotor debe girar a 3600 r/min. Para generar potencia a 50 Hz en una máquina de cuatro polos, el rotor debe girar a 1500 r/min. La tasa de rotación necesaria para una frecuencia dada puede calcularse siempre mediante la ecuación 6.

2.7 Voltaje interno generado por un generador síncrono

La ecuación 7 muestra la magnitud del voltaje inducido en un estator dado.

$$E_A = \sqrt{2}\pi N_C \phi f$$

Ecuación 7.

Este voltaje depende del flujo ϕ en la máquina, de la frecuencia o velocidad de rotación y de la construcción de la máquina. Para resolver los ejercicios con máquinas sincrónicas, esta ecuación se escribe de nuevo en forma más simplificada para enfatizar en las cantidades que varían durante la operación de la máquina. Esta forma más simple se muestra en la ecuación 8.

$$E_A = K\phi\omega$$

Ecuación 8.

Donde K es una constante que representa la construcción de la máquina. Si ω se expresa en radianes eléctricos por segundo. Como se muestra en la ecuación 9.

$$K = \frac{N_C}{\sqrt{2}}$$

Ecuación 9.

Mientras que si se expresa en radianes mecánicos por segundo. Queda como la ecuación 10.

$$K = \frac{N_C P}{\sqrt{2}}$$

Ecuación 10.

El voltaje interno generado E_A es directamente proporcional al flujo y a la velocidad, pero el flujo si depende de la corriente que fluye en el circuito del campo del rotor. La corriente del circuito de campo I_f está relacionada con el flujo ϕ , como se muestra en la ilustración 14(a). Puesto que E_A es directamente proporcional al flujo, el voltaje interno generado E_A está relacionado con la corriente de campo, como se muestra en la ilustración 14(b). Esta grafica se denomina la curva de magnetización o característica de circuito abierto de la máquina. Fuente [Chapman, 2008].

2.8 Circuito equivalente de un generador síncrono

El voltaje E_A es el voltaje interno generado, en una fase del generador síncrono. Sin embargo, este voltaje E_A no es usualmente el voltaje que aparece en las terminales del generador. En efecto, la única vez en la cual el voltaje interno E_A es el mismo voltaje de salida V_ϕ de una fase es cuando no fluye corriente de armadura en la máquina. El voltaje de salida V_ϕ de una fase no es igual a E_A , y existe una relación entre los voltajes y esto conduce al modelo de generador síncrono.

Existen varios factores que ocasionan la diferencia entre E_A y V_ϕ :

1. La distorsión del campo magnético del entrehierro debida a la corriente que fluye en el estator, llamada reacción del inducido.
2. La auto inductancia de las bobinas de la armadura.
3. La resistencia de las bobinas de la armadura.
4. El efecto de la forma de los polos salientes del rotor

Esto se observa en la ilustración 14.

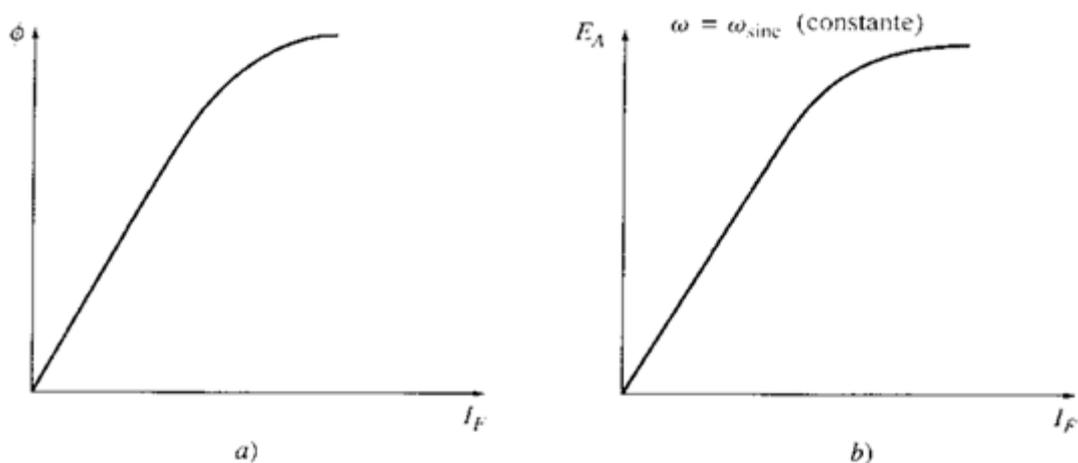


Ilustración 14. Gráfica a) y gráfica b). Fuente [Chapman, 2008].

- a) Gráfica del flujo contra la corriente de campo para un generador síncrono.
- b) Curva de magnetización del generador síncrono.

2.9 Diagrama fasorial de un generador síncrono

Debido a que los voltajes en un generador síncrono son alternos, usualmente se expresan como fasores. Puesto que los fasores tienen magnitud y ángulo, la relación entre ellos debe ser expresada por un dibujo bidimensional. Cuando los voltajes en una fase (E_A , V_ϕ , $jX_S I_A$ y $R_A I_A$) y la corriente I_A en la fase se grafican de tal forma que muestren las relaciones entre ellos, el dibujo resultante se llama diagrama fasorial. Por ejemplo, la ilustración 15 muestra esas relaciones cuando el generador está alimentando una carga cuyo factor de potencia es igual a la unidad (carga puramente resistiva). En la ecuación $V_\phi = E_A - jX_S I_A - R_A I_A$, el voltaje total E_A difiere del voltaje en los terminales V_ϕ por las caídas de voltaje resistiva e inductiva. Todos los voltajes y corrientes están referenciados a V_ϕ , el cual se asume arbitrariamente con ángulo de 0° .

Este diagrama fasorial se puede comparar con los diagramas fasoriales de generadores que operan con factores de potencia en atraso y en adelanto. La ilustración 16 muestra estos diagramas fasoriales. Nótese que para un voltaje de fase y una corriente del inducido dado, se requiere mayor voltaje interno generado " E_A " para cargas en atraso que para cargas en adelanto. Entonces, se requiere mayor corriente de campo con cargas en atraso para mantener el mismo voltaje en los terminales, como se puede observar en la ecuación 11:

$$E_A = K\phi\omega$$

Ecuación 11.

Y " ω " debe ser constante para mantener la frecuencia constante. La ilustración 15 muestra el diagrama fasorial del generador.

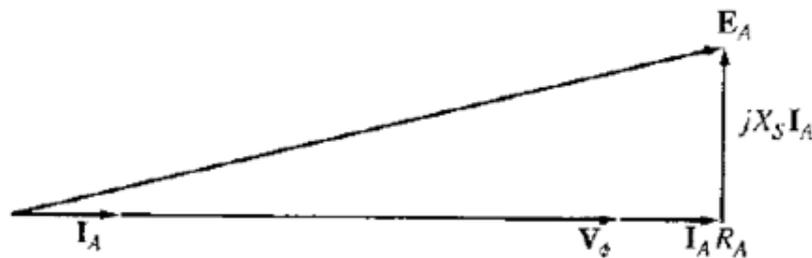


Ilustración 15. Diagrama fasorial de un generador síncrono con factor de potencia unitario. Fuente [Chapman, 2008]

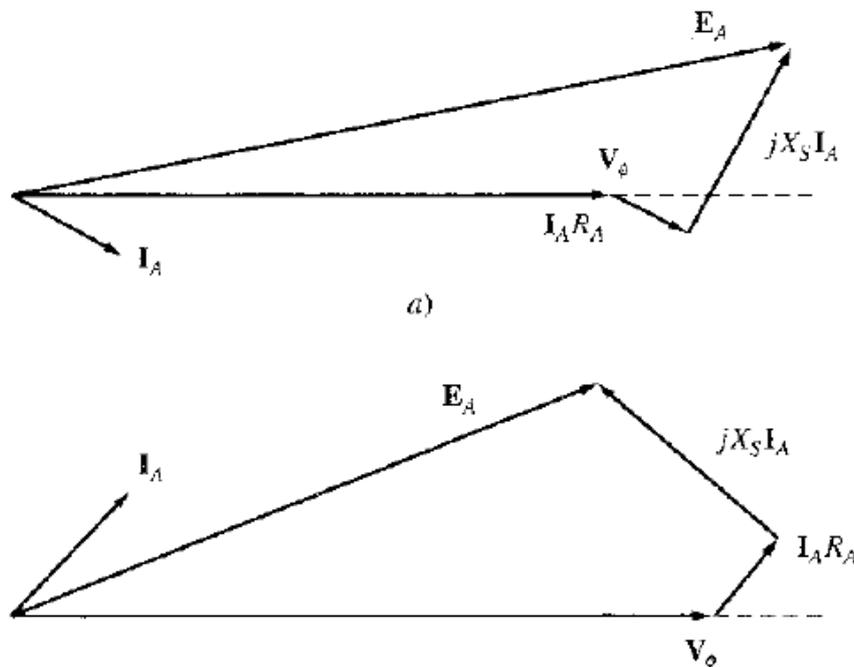


Ilustración 16. Diagrama fasorial de un generador síncrono con factor de potencia a) en atraso y b) en adelanto. Fuente [Chapman, 2008]

2.10 Diferencia de un generador de CC a un generador de CA

A continuación se da una explicación de las diferencias que existen en los generadores de corriente continua a los generadores de corriente alterna, el principio de funcionamiento, como están compuestos y que es lo que cambia en cada uno de ellos.

Generador de C.C	Generador de C.A
Parte Fija: Estator o Inductor	Parte Fija: Estator o Inducido
Parte Móvil: Rotor, Inducido o Armadura	Parte Móvil: Rotor, Inductor

En las siguientes figuras se muestran las principales diferencias entre un generador de corriente continua, ilustración 17 y un generador de corriente alterna, ilustración 18.

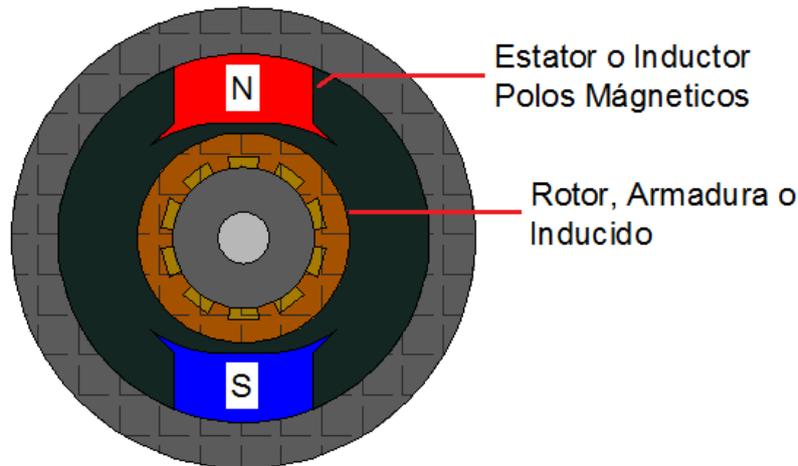


Ilustración 17. Generador de corriente continua.

En el generador de CC, el estator consta de un electroimán encargado de crear el campo magnético fijo conocido con el nombre de inductor.

En el rotor se enrollan bobinas de cobre, este gira a una cierta velocidad cortando el flujo inductor y se le conoce como inducido.

Como se menciona en el funcionamiento de los generadores, cuando se hace girar el rotor en el campo magnético se produce una f.e.m inducida en sus conductores. La tensión se obtiene a través de cada uno de los extremos de las espiras del rotor conectados a un anillo colector y una escobilla, esta tensión obtenida es alterna. Los extremos de las espiras conectados a los semianillos conductores aislados entre sí y junto con las escobillas en contacto con el inducido presentan una determinada polaridad.

Durante un semiperiodo se obtiene la misma tensión alterna pero, en el semiperiodo siguiente, se invierte la conexión convirtiendo el semiciclo negativo en positivo.

El rotor o el inducido suele tener mucho más espiras y el anillo colector suele estar dividido en un mayor número de partes o delgas, aisladas entre sí, formando lo que se le denomina el conmutador.

Las escobillas son de grafito o carbón puro montado sobre porta escobillas que mediante un resorte aseguran un buen contacto.



Ilustración 18. Generador de corriente alterna.

En el generador de CA, el estator pasa a ser la parte eléctrica donde se va a inducir la tensión eléctrica por medio del inductor (rotor) giratorio que va a crear el campo magnético.

En el inducido se encuentran una serie de pares de polos distribuidos de modo alterno y, en este caso, formados por bobinado en torno a un núcleo de material ferromagnético de característica blanda, normalmente hierro dulce.

La rotación del inductor (rotor) hace que su campo magnético, formado por imanes fijos, se haga variable en el tiempo, y el paso de este campo variable por los polos del inducido genera en él una corriente alterna que se recoge en los terminales de la máquina. Este generador síncrono cuenta con un campo secundario el cual alimenta el campo principal con una tensión de CD esto con el fin de elevar el campo magnético que se crea en el inductor y elevar la tensión remanente propia del generador, esto se hace porque al conectar una carga al generador la tensión tiende a caer por lo que hay que regular la tensión, esto se hace con ayuda de un regulador de voltaje.

El inductor (rotor) en el generador es el elemento eléctrico donde se encuentran distribuidos un número de pares de polos fijos, bien formados por imanes permanentes o bien por electroimanes alimentados con corriente directa. En el caso de electroimanes la corriente continua puede proceder de:

- Una fuente externa de corriente continua, como una batería.
- La propia corriente alterna generada por la máquina, rectificadas para obtener corriente continua. Esta es la técnica habitualmente empleada, siendo denominados estos dispositivos como alternadores auto-excitados.

Para hacer llegar la corriente a los electroimanes del inductor, en el caso de que no esté formado por imanes permanentes, es necesario un elemento que haga pasar la corriente al eje en rotación. Este elemento es el anillo rozante, un anillo conectado eléctricamente a cada uno de los terminales del bobinado de los imanes y situado sobre el eje del rotor, coaxial con este, sobre el que desliza una escobilla conductora conectada eléctricamente con el terminal de alimentación correspondiente al inductor.



Ilustración 19. Inductor (rotor) de un generador de CA. Fuente [(Grupo electrógeno, 2014)].

Capítulo III

Pruebas básicas de mantenimiento eléctrico a máquinas eléctricas

3.1 Introducción

En este capítulo se muestran las pruebas de mantenimiento eléctricas básicas a máquinas eléctricas, ya que al realizar estas pruebas, y con los resultados obtenidos, se generó un diagnóstico del estado del grupo motor CA - generador síncrono de 15kW, con este diagnóstico se procedió a realizar un mantenimiento correspondiente, mantenimiento predictivo o mantenimiento por condición de estado de la máquina para su puesta en operación.

Realizar pruebas de recepción es de suma importancia, para conocer las condiciones en las que se encuentra la máquina. Ya que solamente con estas pruebas de mantenimiento básicas, se garantiza su estado de la máquina. Realizar la puesta en marcha de una máquina eléctrica, sin saber cuál es su estado, es algo riesgoso, porque se desconoce si la máquina está en óptimas condiciones para su puesta en operación, y esto puede dañar tanto la misma máquina, la fuente de alimentación, los instrumentos de prueba y la seguridad del personal que lleva a cabo el mantenimiento.

Por lo que este tipo de pruebas no se deben dejar a un lado, y se deben de tomar en cuenta, para que la vida útil de la máquina eléctrica sea aprovechada totalmente y no se generen gastos imprevistos

3.2 Características del mantenimiento a las máquinas eléctricas

Las máquinas eléctricas se consideraban como elementos con bajos índices de fallas en su sistema, por lo que requerían de poca atención, en especial si se trataban de motores de inducción jaula de ardilla. Sin embargo, la tendencia actual de diseñar máquinas de bajos costos provoca que el material utilizado esté operando en sus límites de resistencia mecánica y electromagnética, por este motivo incrementa el índice de desgaste en máquinas que operan en ambientes hostiles u otros tipos de ambientes que dañen los materiales utilizados.

Ya que los motores eléctricos representan una parte vital para sectores industriales y estos no pueden ser interrumpidos, entonces las industrias se preocupan por tener una producción de alta calidad, por lo que es necesario conocer su historial de funcionamiento para poder detectar indicios de alguna avería posible.

La información obtenida de la continua vigilancia del funcionamiento de la máquina proporciona datos de gran utilidad sobre el estado en el que se encuentra internamente, pudiendo dar previsión de una gran cantidad de fallas, como puede ser el caso de, rotura y agrietamiento de barras y anillos de cortocircuito, desequilibrios y desalineaciones mecánicas, fallos en los cojinetes, cortos circuitos entre espiras, imperfecciones en el circuito magnético, envejecimiento del sistema aislante, entre otros. De este modo se evita la aparición de algún daño que pudiera ser peligroso para el sistema de producción o personal. Esto lleva a un incremento en la disponibilidad de la planta y la calidad de producción.

El avance tecnológico en los campos de la electrónica y la informática genera el desarrollo de nuevos dispositivos para que se puedan analizar a las máquinas en tiempo real, y esto genera un fácil desarrollo y aplicación de las técnicas de mantenimiento predictivo, lo que genera una mejor vida útil al equipo eléctrico que se le somete este tipo de tecnologías.

En las máquinas eléctricas se pueden presentar fallas del tipo eléctrico, mecánico, o en su defecto, la combinación de estas dos, pudiendo ser debidos a factores térmicos

(envejecimiento de los devanados por calentamiento excesivo), químicos (gases o líquidos corrosivos) o de otra naturaleza. Pero las principales fallas son debido al ambiente o ciclo de trabajo de la máquina y ocurren durante un proceso transitorio, y es donde los esfuerzos mecánicos y eléctricos a los que está sometida son mayores.

Las especificaciones de una máquina eléctrica deben dar información en las condiciones eléctricas, mecánicas y ambientales en las que trabajara dicho equipo, ya que estos aspectos tienen una conexión directa con sus mecanismos de fallo en servicio.

En la parte mecánica, las máquinas pueden estar expuestas a periodos de marcha intermitente, arranques frecuentes y a ciclos de trabajo pesado, donde la carga varía frecuentemente entre plena carga y vacío con sobrecargas ocasionales. Esto puede provocar aflojamiento y/o agrietamiento de los devanados, degradación del aislamiento por envejecimiento térmico, desgaste de los cojinetes, etc. Es por eso que una máquina que soporta una carga punzante, va a padecer un importante desgaste de sus cojinetes así como un nivel de vibración elevado.

3.3 Prueba de inspección visual

Esta prueba es sin duda una de las pruebas no destructivas más utilizadas, ya que da una respuesta rápida de las condiciones en que se encuentran superficialmente los materiales de los equipos que se les planea realizar pruebas de mantenimiento, con el simple uso de una revisión visual.

En esta prueba se pueden emplear diversos dispositivos ópticos que ayuden a la visión del ojo humano (lupas, lentes, anteojos, etc.) para proporcionar acceso a áreas difíciles de contacto visual, como interiores de máquinas a las que no se les puede abrir de momento, en este tipo de casos se pueden utilizar diversos artefactos que puedan ayudar la inspección visual.

Es importante mencionar, que la inspección visual debe ser realizada por personal que tenga conocimientos de los materiales de los equipos, y de irregularidades o discontinuidades a detectar en los equipos. Por lo tanto el personal que realice la inspección visual tiene que tener un cierto nivel de experiencia.

Con base en lo anterior, al realizar la prueba de inspección visual, se detectó que el grupo motor CA - generador síncrono, se encontraba con desgaste en los conductores de las fases del generador, ya que su cinta aislante estaba sucia y desgastada por el tiempo, por lo que era fácil un desprendimiento si a estas terminales se les manipulaba, al igual que su cinta identificadora, ya que los números correspondientes a las fases del generador, ya no se podían apreciar con facilidad,

Los conductores de las fases del motor, estaban en buenas condiciones, pero estos se encontraron sin zapatas que permitan mejores contactos para la alimentación del grupo motor - generador.

El grupo motor se encontró sucio en la parte superficial, tanto del motor como del generador, ya que este equipo tenía más de 15 años sin operar y por lo tanto su pintura se desgastó por el tiempo y las condiciones ambientales que existen en el laboratorio de Pesados II de ESIME ZACATENCO; este tipo de condiciones pueden hacer que los devanados y partes de las máquinas estén sucias y produzcan fallas al realizar las pruebas de mantenimiento posteriormente.

Se tienen sus placas de características tanto del generador como del motor, como se puede observar en la ilustración 20, se encuentra la placa de características del generador síncrono de 15 kW, en donde se puede observar el nombre de la fábrica que construyó este generador,

llamada KATOMEX [KATOMEX, 2014], el modelo, número de serie, el número de fases, la frecuencia (Hz) que genera, los kilo whatts (kW) que entrega, los kilo volts amperes (KVA), se muestra la tensión (V) que entrega, la corriente (I) que entrega como máximo, los RPM que realiza, entre otras características.



Ilustración 20. Placa de características del generador de 15 kW.

En la ilustración 21, se muestra la placa de características del motor, donde se observa el nombre de la fábrica que construyó este motor llamada RELIANCE [RELIANCE, 2014], donde muestra la clase del motor, número de identificación, la frecuencia (Hz) en la que opera, la corriente (I) que consume, la tensión (V) a la que trabaja, los RPM que realiza, la temperatura ambiente máxima en la que debe de estar, entre otras características.



Ilustración 21. Placa de características del motor de 20 HP.

El grupo motor - generador se encontró con una banda que acopla a estas máquinas, como se puede observar en la ilustración 22. La banda aparentemente se encontraba sin cuarteaduras, pero por seguridad se tendrá que remplazar posteriormente.



Ilustración 22. Banda de acoplamiento del grupo motor - generador.

Se realizó la inspección de los devanados y diodos con los que cuenta el generador, lo devanados se encontraron sucios y los diodos estaban aparentemente en buenas condiciones, pero esto no se sabrá hasta que se ponga en operación al grupo motor - generador síncrono, y que estos desempeñen su trabajo de rectificar.

Quitando la carcasa que cubre el generador síncrono, se encontró que estaba sucio en su parte superior y en la tapa que cubre a la máquina, el conjunto de conductores que entregan la tensión, estaba de igual modo, cubierto por polvo y sus cintas aislantes desgastadas por el tiempo y factores que se derivan del cambio del clima que ha sufrido a lo largo de este tiempo sin operar, como puede ser la humedad.

Los devanados no presentaron algún tipo de fractura o golpe que se pudiera ver a simple vista, la capa de barniz que cubre los devanados se encontró un poco deteriorada y el cuerpo del generador se encontró en perfecto estado, lo único que se detectó fue capa de polvo que cubre a las partes de esta máquina y el desgaste del barniz que cubre los devanados, como se pueden observar en las imágenes.

Como se puede observar en la ilustración 23, la capa de polvo cubre toda la parte del estator del generador síncrono, al igual que el conjunto de conductores que salen del generador, al retirar la carcasa se encontró sucio todo su interior. También se puede observar las condiciones físicas de sus devanados, las espiras no tienen daños físicos, el barniz no se encuentra quemado pero ya se encuentra deteriorado, en general, está en buenas condiciones todo el interior del generador.



Ilustración 23. Interior del generador que se encuentra cubierto por una capa de polvo.

En la ilustración 24, se muestra como los devanados están cubiertos por polvo, la flecha del generador también está cubierta por polvo, al igual que estator y el rotor, esta ilustración claramente muestra los efectos que sufrió esta máquina por el paso del tiempo.

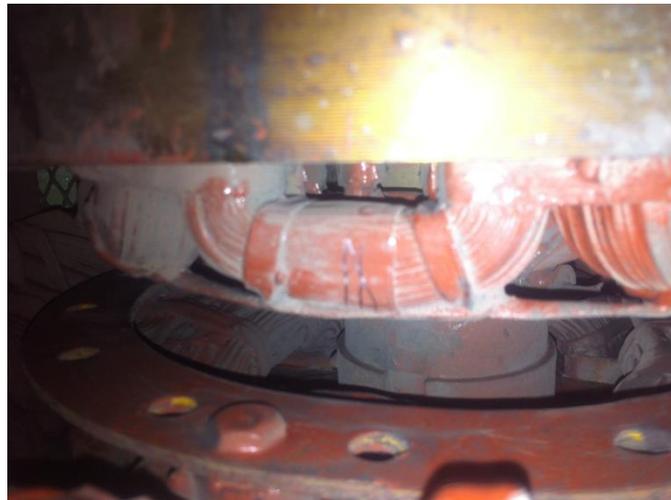


Ilustración 24. Partes del generador que se encuentran cubiertas por una capa de polvo.

Se procedió a retirar las tapas que cubren la carcasa del motor de CA, quitando el rotor con mucho cuidado, para que las espiras no se dañen o sufra algún tipo de golpe, por lo que este procedimiento se realizó con mucha precaución. Se encontró que el estator y el rotor estaban en buenas condiciones, solamente se encontró una capa de polvo que cubría a todo el estator, por todos los años que no opero ni se le aplico mantenimiento constante.

Se puede observar en la ilustración 25 y en la ilustración 26 el estado en los que se encontraron estas partes del motor, al quitar las tapas de la carcasa. En la ilustración 25 se observa la capa de polvo que cubre al estator, y las buenas condiciones en la se encontró, ya que no se encontraron espiras dañadas o alguna otra parte en mal estado; en la ilustración 26 se puede observar que el rotor no sufre alguna fractura en su flecha o alguna otra parte.



Ilustración 25. Estator del motor de CA, cubierto por una capa de polvo.



Ilustración 26. Rotor del motor de CA.

3.4 Prueba de resistencia del aislamiento e índice de polarización

En una máquina eléctrica la resistencia de aislamiento es la resistencia que resulta de la combinación en paralelo de todos los aislantes que se pueden encontrar entre los conductores del devanado y tierra o carcasa del motor. Se trata de un parámetro que por sí mismo no indica la calidad del aislante, sin embargo, puede indicar su contaminación y permitir la predicción de futuros problemas del aislamiento. Una tendencia descendente en el valor de la resistencia de aislamiento en sucesivos ensayos puede ser indicativa de la degradación del dieléctrico; asimismo, se trata de un parámetro importante a la hora de evaluar la capacidad del aislamiento para soportar sin falla, otros ensayos de mayores sollicitaciones eléctricas.

La prueba de resistencia de aislamiento es utilizada para localizar fallas y saber en qué condiciones se encuentra el sistema aislante de las máquinas. Puesto que el aislamiento eléctrico se degrada con el paso del tiempo debido a su uso durante su vida útil de trabajo. El aislamiento está diseñado para resistir ese tipo de usos, pero solo por un periodo de años que se considera como la vida de trabajo de ese aislamiento.

El exceso de uso puede llevar a un incremento de su proceso natural de envejecimiento de dicho aislamiento, como consecuencia tenemos un acortamiento de su vida útil de trabajo del aislamiento. Por esta razón es bueno realizar pruebas regulares para identificar si tiene lugar un incremento del envejecimiento, e identificar si los efectos pueden ser tratados a tiempo o no.

Las pruebas de diagnóstico toman la forma de una “prueba puntual (spot)”. Los encargados de mantenimiento eléctrico han hecho pruebas puntuales, cuando se aplica un voltaje al aislamiento y se mide la resistencia, por medio de un instrumento de medición llamado megohmetro. (Manual. MEGOHMMETER 1050, 2014)

Se conoce que la información obtenida por una sola lectura del megohmetro es insuficiente, aunque es la clase de prueba que se aplica generalmente a los circuitos de bajo voltaje, donde el corto de una falla es mínimo y el equipo puede ser remplazado fácilmente.

Pero cuando se habla de equipos de media, alta tensión y/o costos, lo que se recomienda es comparar con lecturas registradas del megohmetro con lecturas obtenidas anteriormente para poder ver una tendencia y decidir las acciones correctivas.

La directiva de estándares de IEEE (Asociación internacional de ingenieros electrónicos y eléctricos), aprobó una revisión del estándar que ha servido de guía para las medidas de aislamiento en máquinas rotatorias.

El estándar está dirigido para quienes dan mantenimiento, fabrican, operan o son responsables para la aceptación de máquinas rotatorias.

Por lo que el estándar solicita la prueba de resistencia del aislamiento y la prueba del índice de polarización (IP), en consecuencia es recomendable que ambas pruebas sean realizadas.

Resistencia del aislamiento

La tensión de CC que se debe aplicar a la prueba de aislamiento y los valores mínimos permisibles de la resistencia de aislamiento para los devanados de las máquinas rotatorias para CA y CC (la resistencia medida al cabo de un minuto) son parámetros que la norma indica. Como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Valores predeterminados por el estándar. [Board, 2008].

Voltaje (v) del bobinado (V es la tensión entre las fases para máquinas trifásicas y monofásicas, y la tensión nominal para máquinas de CC o bobinados de campo)	Voltaje que se aplicará en la prueba de aislamiento
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-25000
5001-12000	25000-5000

<1200	5000-10000
-------	------------

El estándar recomienda que cada fase sea aislada y probada individualmente, dado que este acercamiento permite las comparaciones que deberán hacerse entre fases. Las dos fases que no están siendo probadas deberán ser puestas a tierra en la misma tierra que la del núcleo del estator o el cuerpo del rotor.

Cuando todas las fases son probadas simultáneamente, únicamente el aislamiento a tierra es probado. Las mediciones de resistencia de aislamiento deben ser hechas con todo el equipo externo (cables, capacitores, etc.) desconectados y conectados a tierra debido a que estos objetos pueden influenciar la lectura de la resistencia. Deberá usarse un punto común a tierra.

El estándar proporciona valores mínimos para las pruebas de “resistencia de aislamiento” e “índice de polarización” los cuales indica la situación en que se encuentra el bobinado.

La resistencia de aislamiento mínima, después de un minuto y a una temperatura de 40°C, está determinada en la tabla 2. La resistencia mínima recomendada para un bobinado de una armadura de tres fases probada con las otras dos conectadas a tierra, deberá ser aproximadamente el doble del bobinado total. Si cada fase es probada individualmente, la resistencia mínima a un minuto deberá ser tres veces el bobinado total.

Tabla 2. Aislamiento mínimo, después de un minuto y a una temperatura de 40°.

Resistencia mínima en Megaohms	Máquina bajo prueba
KV+1 (Donde KV es la tensión nominal de la máquina, media en KV)	Para bobinados fabricados antes de 1970
1000	Para motores de CC y estatores CA construidos después de 1970
5	Para máquinas de bobinado aleatorio y formado, de tensiones menores de 1 KV

La norma indica que si la resistencia a 1 minuto es mayor a 500 megaohms, entonces el cálculo del IP puede dejarse de lado.

Factores que afectan la medida

Las medidas de la resistencia de aislamiento se ven afectadas por varios factores como son:

- Condiciones de la superficie.
- Humedad.
- Temperatura.
- Magnitud y duración de la tensión aplicada durante el ensayo.
- Carga residual del devanado.

Condición de la superficie. El polvo sobre las superficies aislantes, que en condiciones secas se comportan como no conductor, se convierte parcialmente en conductor cuando está expuesto a la acción de la humedad, y puede por tanto disminuir la resistencia de aislamiento. Si la resistencia de aislamiento se ve reducida por efecto de la contaminación o por excesiva humedad superficial, su valor habitual puede ser recuperado por medio de operaciones de limpieza o secado que la eliminen.

Efecto de la humedad. La humedad afecta de dos formas importantes el sistema aislante. En primer lugar, puede ser absorbida en los poros del aislamiento sólido, reduciendo su resistencia de aislamiento. En segundo lugar, el agua distribuida por el volumen de un aislante produce una reducción de su resistividad.

A pesar de que la superficie de los devanados puede encontrarse limpia, si su temperatura está por debajo de la de rocío del aire ambiente, se puede formar una película de humedad sobre la superficie del aislante que disminuye el valor de la resistencia de aislamiento.

Efecto de la temperatura. La resistencia de la mayoría de los materiales aislantes varía inversamente con la temperatura. La relación es compleja desde el punto de vista teórico, pero desde el punto de vista práctico y para valores de la temperatura dentro del rango en el que el aislante es más habitualmente utilizado, el valor de la resistencia de aislamiento se reduce a la mitad por cada 10°C de ascenso de la temperatura.

Magnitud y duración de la tensión aplicada durante el ensayo. La resistencia de aislamiento de un devanado aumenta con la duración de la aplicación de la tensión continua. El incremento será normalmente rápido en los primeros instantes de aplicación de la tensión, y las lecturas se aproximarán gradualmente a un valor prácticamente constante conforme pase el tiempo.

La resistencia de aislamiento medida en un devanado seco y en buenas condiciones puede seguir aumentando durante horas con una tensión de ensayo constante aplicada de forma continua. Sin embargo, un valor bastante aproximado se alcanza al cabo de 10 o 15 minutos. Si el devanado está húmedo o sucio, este valor se alcanzara al cabo de uno o dos minutos de realizado el ensayo. La pendiente de la curva es, por tanto, un buen indicador del estado aislante.

Carga residual del devanado. Las medidas de la resistencia de aislamiento serán erróneas si existe carga residual en el aislante. Por tanto, al realizar cualquier medida de este tipo o cualquier otra relacionada con la aplicación de tensión a los devanados, estos deben estar completamente descargados. Después de la aplicación de una tensión de ensayo es importante poner a tierra los devanados por motivos de seguridad, y de exactitud en la realización de posteriores ensayos. El tiempo de descarga o de puesta a tierra debe ser un mínimo de cuatro veces el tiempo de carga.

Valor mínimo de la resistencia de aislamiento. Cuando los datos históricos de resistencia de aislamiento no están disponibles, los valores mínimos recomendados de resistencia de aislamiento al cabo de un minuto pueden ser usados para estimar la conveniencia de aplicación de un ensayo de sobretensión, o para continuar con el funcionamiento normal. El valor referido, a la temperatura base, de resistencia de aislamiento al cabo de un minuto debe ser al menos el que se recomienda como mínimo.

El valor mínimo recomendado de resistencia de aislamiento para un devanado de máquina de corriente alterna o continua es el valor mínimo que se debe presentar antes de hacer un ensayo de sobretensión o de poner en funcionamiento la máquina.

El valor mínimo de resistencia de aislamiento recomendado R_m , tanto para máquinas de corriente alterna como de continua, puede ser determinado como se puede observar en la ecuación 12.

$$R_m = kV + 1$$

Ecuación 12.

Dónde:

R_m = Es el valor mínimo recomendado de resistencia de aislamiento (en megohmios) a la temperatura base.

kV = Es el valor eficaz de la tensión nominal de la máquina en kilovolts.

Este valor mínimo debe ser considerado como un mínimo absoluto, dado que las máquinas modernas, con aislamiento en buen estado, presentan típicamente valores de resistencia que exceden de cientos o miles de megohms.

Generalmente, una máquina que ha estado parada durante algún tiempo podría volver al servicio si el IP es 1 o sobrepasa este valor y la resistencia de aislamiento está por encima del valor mínimo. La resistencia de aislamiento de un devanado fiable debe estar bien por encima de los requerimientos mínimos y el IP debe ser al menos igual al mínimo sugerido.

Las tensiones continuas a aplicar dependen de la tensión nominal de la máquina, pero no hay reglas fijas. Unos valores orientativos pueden ser los siguientes; para motores con tensión nominal hasta 200V, las tensiones de ensayo deben estar entre 100 y 200V, los motores que funcionan de 400 a 600V se ensayan a 500 y 1000V.

Resultados obtenidos de la prueba de resistencia de aislamiento al grupo motor - generador

De acuerdo con lo descrito anteriormente se procedió a realizar las mediciones de resistencia de aislamiento del grupo motor - generador.

Para la realización de la prueba se procedió de la siguiente manera.

1. Se colocaron en cortocircuito las tres fases del motor de inducción y del generador eléctrico.
2. Con un megohmetro digital [Manual. MEGOHMMETER 1050. 2014] para realizar las mediciones de la resistencia del aislamiento, se llevó la punta positiva de alta tensión del instrumento en las terminales de las fases en cortocircuito del motor de inducción y del generador eléctrico, la terminal negativa del instrumento a la carcasa del motor y del generador. Posteriormente se procedió a realizar la misma operación pero ahora la terminal negativa del instrumento conectada a carcasa y tierra.
3. Se procedió a ajustar el instrumento a una tensión de 500V para realizar la prueba.
4. Se oprimió el botón para comenzar la prueba.

Motor de inducción

En las ilustraciones 27 y 28 se observan las conexiones que se realizaron por medio del megohmetro, se muestra como las fases del motor están en cortocircuito y se conectan a la punta positiva del megohmetro, la otra punta negativa del megohmetro está conectada en la carcasa del motor.

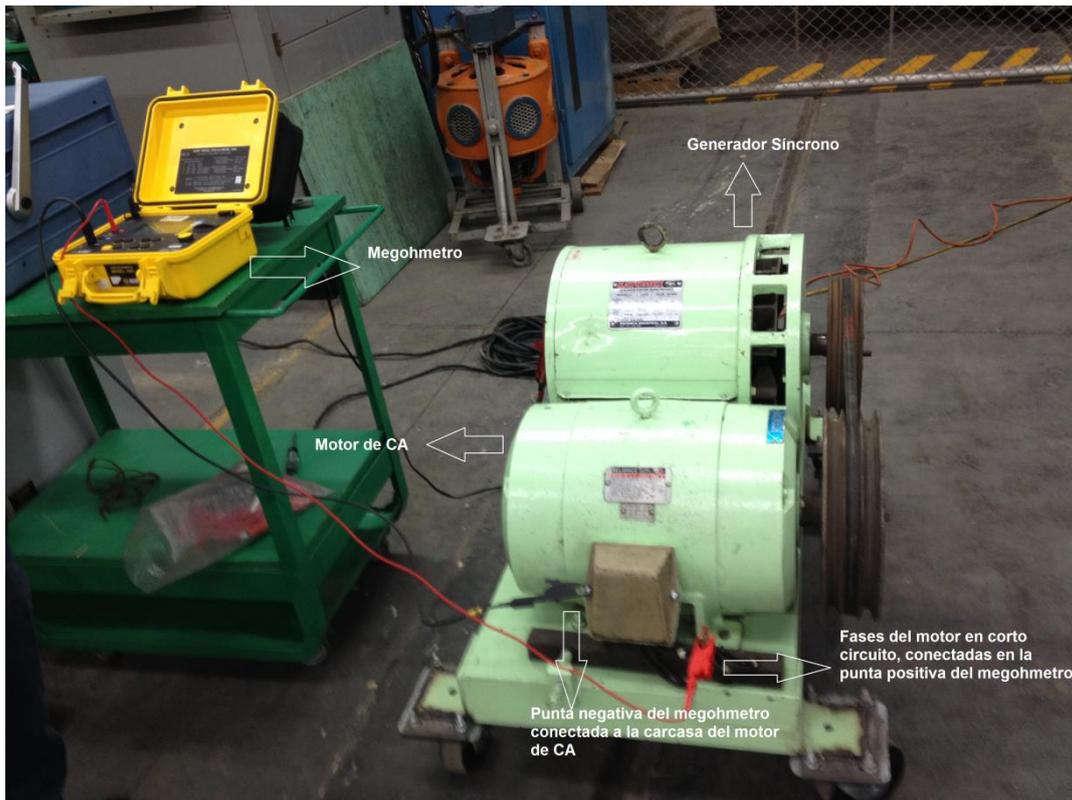


Ilustración 27. Conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento al motor de inducción.

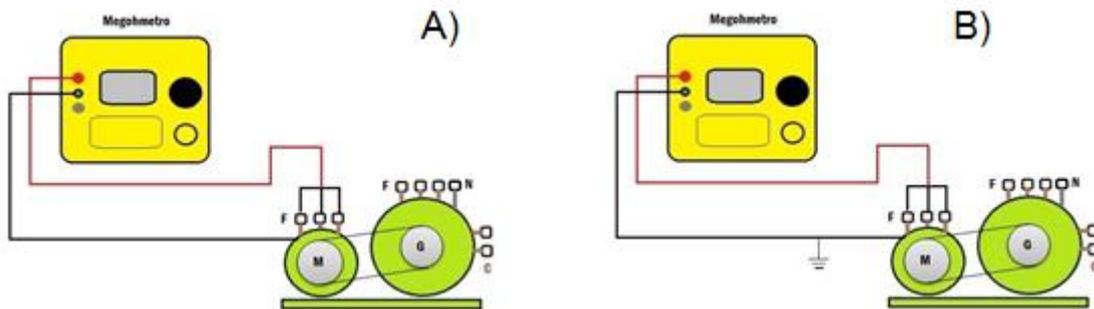


Ilustración 28. Diagrama de conexión para prueba de resistencia de aislamiento a carcasa (A) y carcasa a tierra (B) del motor de inducción.

Resultados obtenidos

De acuerdo a la prueba se obtuvieron las siguientes tablas con los resultados de resistencia de aislamiento.

RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

MEDICION DE LA RESISTENCIA DE AISLAMIENTO AL MOTOR Y AL GENERADOR CON UN NIVEL DE TENSION DE 514V.

La tabla 3 muestra los resultados que se obtuvieron tras realizar la medición de la resistencia de aislamiento al motor de inducción, con un nivel de tensión de 514 Volts. Así como la gráfica de resultados en la ilustración 29.

Tabla 3. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el motor de inducción.

MOTOR DE INDUCCION			
Fase con carcasa		Fase con carcasa a tierra	
Tiempo	GΩ	Tiempo	GΩ
30 segundos	69.8	30 segundos	106.4
1 min	101	1 min	158
2 min	145.6	2 min	202.1
3 min	170.8	3 min	245.75
4 min	191	4 min	260.4
5 min	205	5 min	273.7
6 min	220.4	6 min	275
7 min	232	7 min	287.5
8 min	240.2	8 min	298.3
9 min	250	9 min	303.9
10 min	260.4	10 min	308.4

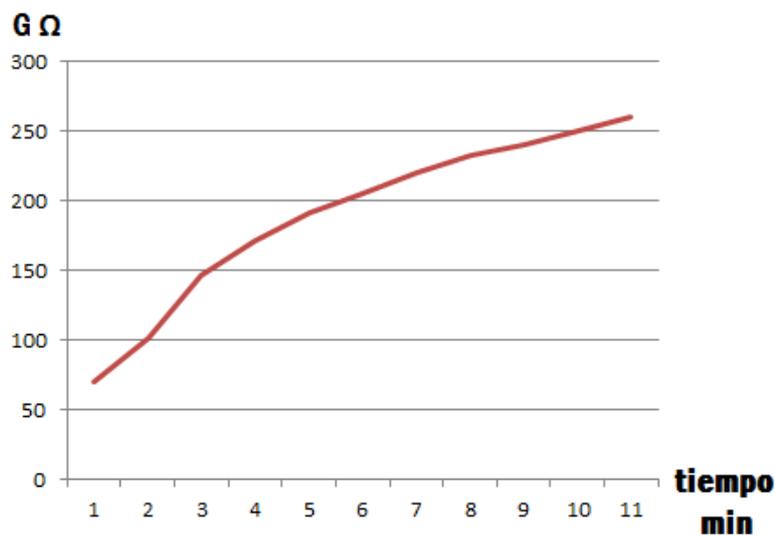


Ilustración 29. Curva de incremento en la resistencia de aislamiento, fase con carcasa del motor.

Generador Síncrono

En la ilustración 30 se observan las conexiones que se realizan con el megohmetro para obtener los valores de la resistencia del aislamiento para el generador síncrono, se puede observar como los conductores del generador se pusieron en cortocircuito y se conectó la punta positiva del megohmetro, y la punta negativa se conectó a la carcasa del generador.

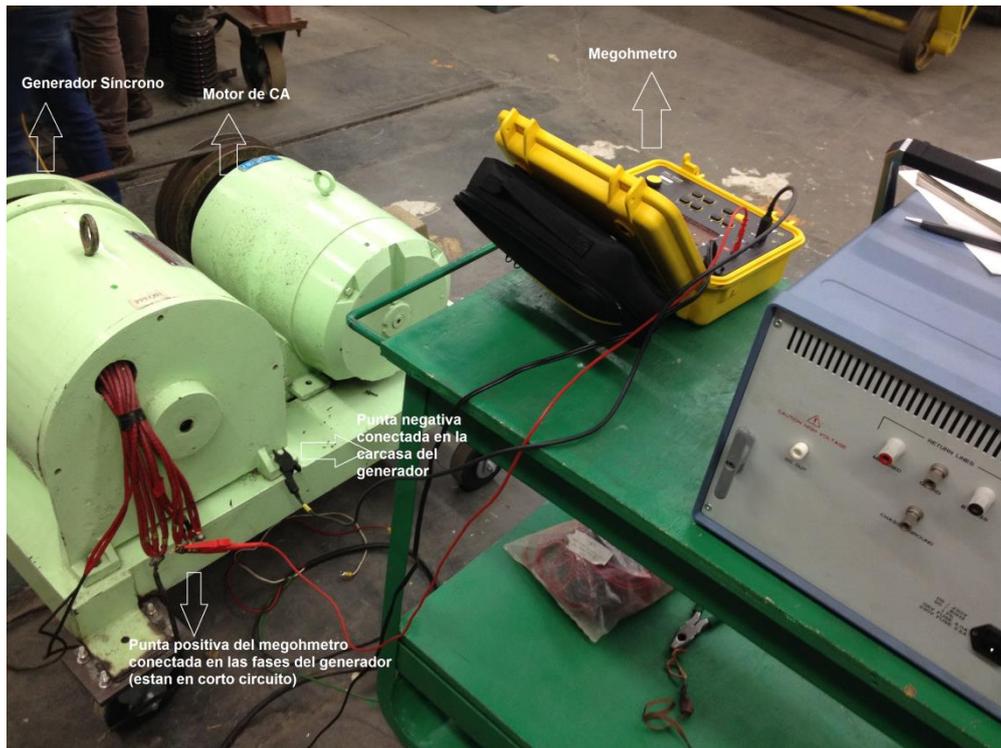


Ilustración 30. Conexiones para la prueba de resistencia de aislamiento al generador síncrono.

La ilustración 31 muestra al diagrama de conexiones que se realizaron en la prueba de resistencia del aislamiento, tanto para el motor de CA como para el generador síncrono, para obtener los valores por medio del megohmetro.

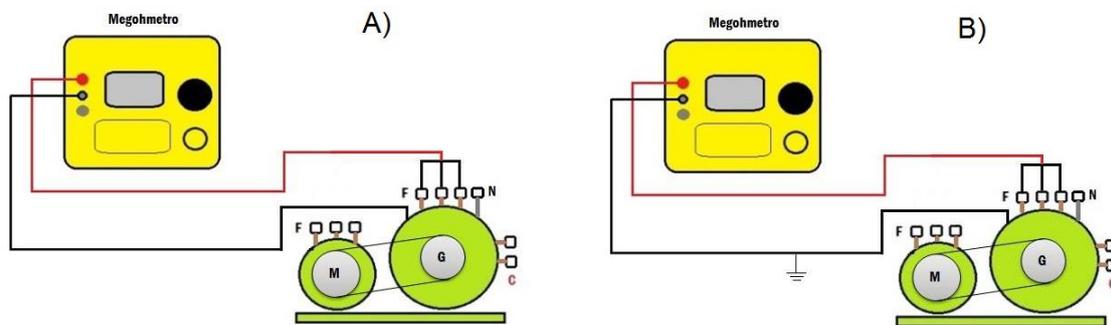


Ilustración 31. Diagrama de conexión para la prueba de resistencia de aislamiento a carcasa (A) y carcasa a tierra (B) del generador síncrono.

A continuación se muestra la tabla 4, que muestra los resultados de la medición de la resistencia de aislamiento al generador síncrono con un nivel de tensión de 514 Volts. Y la gráfica de resultados en la ilustración 32.

Tabla 4. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el generador síncrono.

GENERADOR SINCRONO			
Fase con carcasa		Fase con carcasa a tierra	
Tiempo	GΩ	Tiempo	GΩ
30 segundos	28.05	30 segundos	43.8
1 min	40.5	1 min	64.8
2 min	56.8	2 min	88.2
3 min	68.5	3 min	100

4 min	77.4	4 min	106.6
5 min	85	5 min	112.8
6 min	91.4	6 min	116.7
7 min	97.3	7 min	119.4
8 min	102.6	8 min	123.2
9 min	107.9	9 min	125.1
10 min	112.6	10 min	127

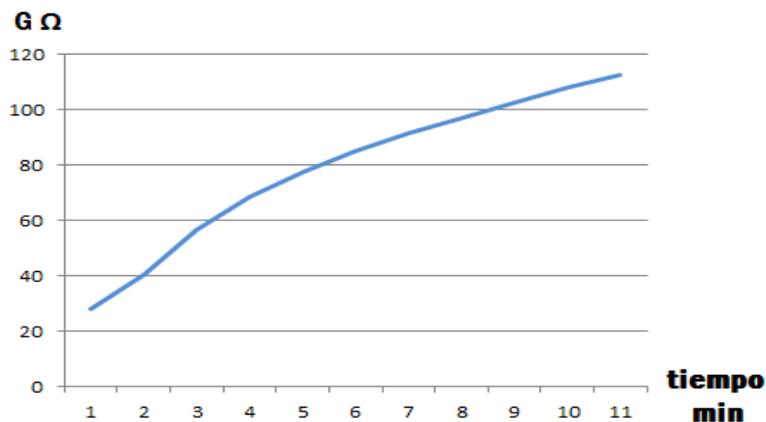


Ilustración 32. Curva de incremento en la resistencia de aislamiento, fase con carcasa del generador.

Para verificar que los valores obtenidos por el instrumento para la medición de resistencia de aislamiento en los devanados del motor de inducción y del generador síncrono son correctos, se obtuvo el valor mínimo de resistencia de aislamiento de la siguiente manera:

Utilizando la ecuación 12 ($R_m = kV + 1$), y sabiendo que el motor y el generador van a operar a una tensión nominal de 220V, se obtiene el siguiente resultado, tal y como se puede observar en la ecuación 13.

$$R_m = 0.22 + 1$$

Ecuación 13.

Valor mínimo de la resistencia de aislamiento = 1.22 megohmios

Comparando este valor mínimo de resistencia de aislamiento con los obtenidos en la prueba realizada en los primeros 30 segundos se obtuvo lo siguiente:

Motor de inducción con carcasa

$$69.8 \text{ G}\Omega > 1.22 \text{ M}\Omega$$

Motor de inducción con carcasa a tierra

$$106.4 \text{ G}\Omega > 1.22 \text{ M}\Omega$$

Generador síncrono con carcasa

$$28.05 \text{ G}\Omega > 1.22 \text{ M}\Omega$$

Generador síncrono con carcasa a tierra

$$43.8 \text{ G}\Omega > 1.22 \text{ M}\Omega$$

Se observa que los valores obtenidos son mayores al valor mínimo de la resistencia de aislamiento, comprobando que el aislamiento del grupo motor generador está en condiciones para soportar la tensión nominal que se le aplicará para su puesta en operación.

Índice de polarización

Cuando se aplica una tensión al circuito aislante del devanado aparece una corriente que consta de dos componentes; primero, que se establece por caminos de dispersión sobre la superficie del aislante y segundo, que circula por lo que es el propio cuerpo del aislante.

La corriente a través del aislante puede ser subdividida en:

1. Una componente denominada corriente de absorción, correspondiente a una polarización y que envuelve varios mecanismos moleculares del material aislante. Esta corriente es una medida de la cantidad de impurezas presentes en el interior del dieléctrico. Esta componente decae con el tiempo desde un valor inicial relativamente alto hasta hacerse cero cuando el tiempo es suficientemente grande, es la responsable de la energía que se almacena en el aislamiento durante el ensayo.
2. Una componente denominada corriente de conducción, la cual es prácticamente constante. Esta corriente es la que predomina después que la de absorción se haya reducido hasta ser casi insignificante, y está motivada por los electrones libres que existen en el dieléctrico. La corriente de conducción puede estar también originada por efecto de la contaminación externa de los devanados combinada con humedad o por efecto de alteraciones del propio dieléctrico.

Concretando, se puede decir que la corriente de absorción refleja el estado interno del dieléctrico, estado que nunca es mejorable.

Por su parte, la corriente de conducción (aunque también, puede depender de su estado interno) es fundamentalmente, consecuencia de factores externos al dieléctrico como pueden ser el grado de polución, humedad, etc.

El contenido en humedad del aislamiento y la contaminación aumentan la corriente de absorción y en mayor escala la corriente de conducción. Este hecho permite definir un nuevo parámetro de carácter adimensional, denominado índice de polarización (IP) y que resulta indicativo a la hora de valorar el grado de sequedad del aislamiento y su grado de limpieza.

El IP se define como la relación entre las corrientes de carga medidas al cabo de un minuto y de 10 minutos de aplicar la tensión, el IP puede expresarse como se observa en la ecuación 14:

$$IP = 1 + \frac{I_{\text{absorción}}}{I_{\text{conducción}}}$$

Ecuación 14.

Un valor bajo de IP es un indicativo de una corriente de conducción elevada con relación a la corriente de absorción; es decir indica la existencia de humedad y/o contaminación.

Dependiendo de la condición del devanado, de la clase de aislamiento y del tipo de máquina pueden obtenerse valores de IP de 1 a 7. Los aislantes de clase B tienen, normalmente, un IP más alto que los de clase A.

Los valores que se sugieren del IP para devanados limpios y secos son los siguientes:

- Aislamiento clase A: 1.5 o superior.
- Aislamiento clase B: 2 o superior.
- Aislamiento clase F: 2 o superior.

Un índice de polarización menor que 1 indica una corriente de conducción creciente en el tiempo, que apunta una condición del aislante poco satisfactorio. Un valor anormalmente alto del IP en un devanado viejo, por ejemplo, del orden de 5 para un devanado de unos 20 años, puede indicar un aislamiento reseco y quebradizo. En estos casos el esfuerzo mecánico de un cortocircuito, por ejemplo, puede determinar un fallo durante el funcionamiento por fractura del aislante. Con carácter general, los valores de diagnóstico utilizados, son los de las tablas 5 y 6 que a continuación se pueden observar.

Tabla 5. Estado del aislante según el índice de polarización [AEMC, 2014].

IP	Estado del aislante
< 1	Inadecuado y peligroso
< 2	Inadecuado y peligroso
> 2 a < 4	Bueno
> 4	Excelente

Tabla 6. Resultados obtenidos del índice de polarización del motor de inducción y generador síncrono.

Valores obtenidos de índice de polarización con megohmetro digital			
Motor de inducción		Generador síncrono	
Fase a carcasa	Fase con carcasa a tierra	Fase a carcasa	Fase con carcasa a tierra
2.55	1.91	2.78	1.94
> 2 a < 4	< 2	> 2 a < 4	< 2

De acuerdo a la tabla 5, se determina que los valores de índice de polarización en el grupo motor - generador síncrono en el caso de fase a carcasa cumplen con lo especificado ya que el aislamiento se encuentra en buenas condiciones. En la prueba de carcasa a tierra se muestra que el índice de polarización es bajo a la especificado en el manual de operación, pero comparando este con los datos obtenidos a la carcasa del motor se puede determinar que cumple con las condiciones para ponerse en operación aunque esta prueba muestra que las condiciones del grupo motor - generador no son las mejores y que tantos años sin ningún mantenimiento periódico, perjudicaron los elementos mecánicos y eléctricos del grupo motor - generador.

Gráfica de la resistencia de aislamiento realizado con megger digital y pc.

Una vez realizada la prueba de resistencia de aislamiento de forma manual, se procedió a hacer la misma medición pero ahora haciendo uso del software con el que cuenta el equipo, con ayuda de una computadora, esto se hace con el fin de obtener resultados más precisos para saber en qué condiciones se encuentra el grupo motor - generador.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al realizar la prueba, ahora con el software proporcionado por el mismo equipo de medición. Como se puede observar en la ilustración 33.

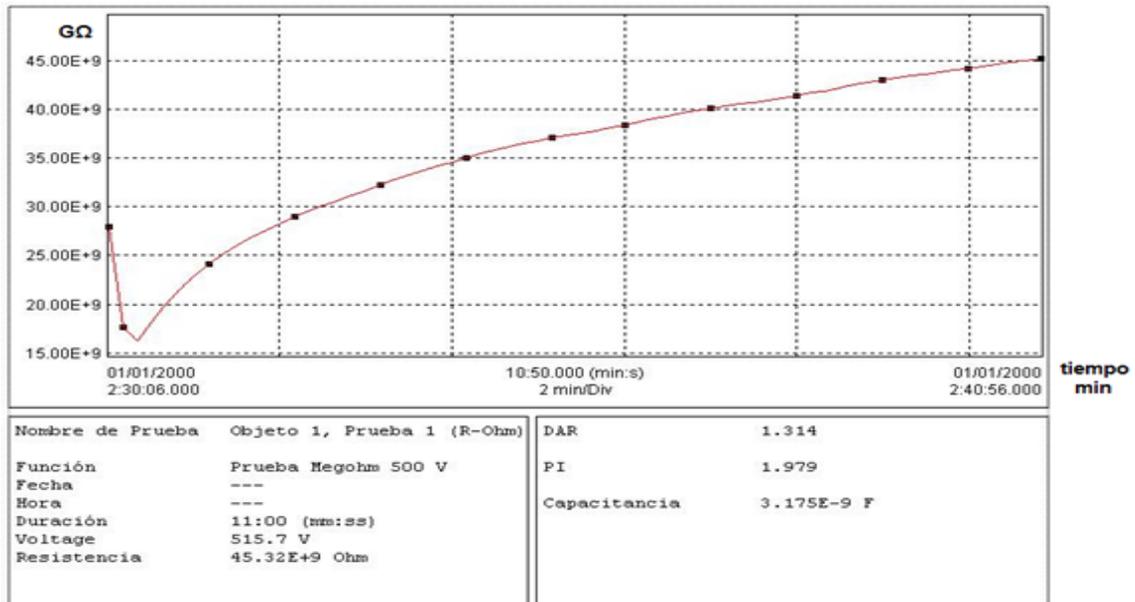


Ilustración 33. Curva de la resistencia de aislamiento.

En esta ilustración 33 se puede mostrar el índice de polarización que es de 1.979 este valor es aproximado al que se obtuvo de forma manual que fue de 1.94, aunque se demuestra que el IP obtenido entra dentro del valor establecido por la norma se espera que este mejore significativamente una vez que se le realice el mantenimiento correspondiente y que posteriormente se comparara una vez realizado el mismo.

3.5 Prueba de resistencia óhmica

Con esta prueba se llevó a cabo la medición de las resistencias que tienen los devanados del grupo motor - generador, mediante un puente de resistencias óhmicas universal digital [Manual. DIGITAL MICRO - OHMMETER 4300B., 2014], el cual da lecturas de resistencias de 0.0002 Ω hasta 20000Ω, corrigiendo a un factor de temperatura, lo cual da una lectura muy precisa.

En la ilustración 34 se muestra el puente de resistencias óhmicas, que se empleó para realizar esta prueba..



Ilustración 34. Puente con el que se midió la resistencia óhmica de los devanados [Manual. DIGITAL MICRO - OHMMETER 4300B, 2014].

Como primer paso, se midió la resistencia del aislamiento de nuestro motor, midiendo entre las 3 fases. De la fase "A" a la fase "B", obteniendo un valor de $.4630 \Omega$, estando a una temperatura de 19° se corrigió a $.4537 \Omega$.

Se puede observar en la ilustración 35, como se conectaron las puntas del puente universal de resistencias óhmicas, a las fases del motor, en esta ilustración se observa cómo se conectó la fase "A" con la fase "B", donde claramente las puntas tiene un buen contacto con la punta del conductor de la fase, y ninguno de los dos conductores están teniendo contacto con la plataforma o carcasa del motor de CA.



Ilustración 35. Medición de los devanados del motor entre las fases "A" y "B".

La ilustración 36 muestra el resultado obtenido de conectar la fase "A" con la fase "B", el cual muestra, la resistencia que hay entre estas dos fases.



Ilustración 36. Valor obtenido de la resistencia de los devanados "A" y "B" (sin compensador de temperatura).

Después se procedió a medir entre la fase “B” y la fase “C”, obteniendo un valor de $.4628 \Omega$ y corrigiendo con la temperatura de 19° se obtuvo un valor de $.4501 \Omega$.

La ilustración 37 muestra el valor obtenido de resistencia óhmica, conectando la fase “B” con la fase “C”, este valor obtenido fue corregido a una temperatura de 19°C (el cual da un resultado más exacto de la resistencia óhmica obtenida), se puede observar que el led de “TEMPERATURA” esta encendido.



Ilustración 37. Valor obtenido de la resistencia de los devanados “B” y “C”, (corregido a una temperatura de 19°C).

Después se procedió a medir entre la fase “A” y la fase “C”, obteniendo un valor de $.4642 \Omega$ y corrigiendo con la temperatura de 19°C se obtuvo un valor de $.4543 \Omega$.

Esto indica que los devanados están en óptimas condiciones, ya que no presentan valores de resistencia óhmica altos, puesto que su resistencia como conductor es mínima, esto garantiza que no hay falla alguna, ya que los valores de la resistencia deben de estar en el orden de los miliohms ($\text{m}\Omega$), si pasan de ese rango indica que hay alguna falla en el diseño de los devanados. Por lo que se esperan buenos resultados a la hora de operar.

Posteriormente se procedió a realizar la misma operación con el generador, midiendo entre las fases y neutro. Se conectó la punta del puente de resistencias óhmicas a la fase “A”, y la otra punta se conectó al neutro. Como se puede observar claramente en la ilustración 38.

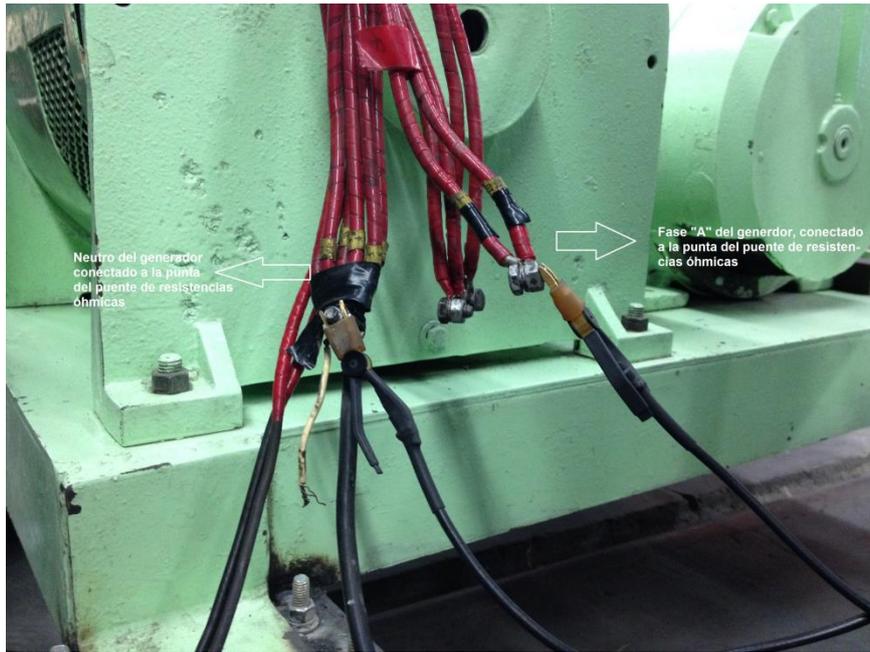


Ilustración 38. Conexión del generador, obteniendo su resistencia óhmica entre la fase “A” y el neutro.

El valor obtenido al medir la fase “A” contra el neutro, fue de $.2494 \Omega$ y corrigiendo a una temperatura de 20°C se obtuvo $.2484 \Omega$.

Posteriormente se procedió a conectar las puntas del puente de resistencias óhmicas a la fase “B” y al neutro, obteniendo un valor de $.2493 \Omega$, corrigiendo a una temperatura de 20° se obtuvo $.2483 \Omega$.

La ilustración 39 muestra el valor obtenido al conectar la fase “B” del generador con el neutro, se puede observar que el valor obtenido, es muy similar al valor obtenido entre la fase “A” y el neutro. Lo que indica que las resistencias óhmicas de los devanados del generador síncrono están en buenas condiciones y que ninguna de las dos tiene algún tipo de falla.



Ilustración 39. Valor obtenido de la resistencia óhmica del generador, de la fase “B” y neutro.

Finalmente, se realizó el mismo paso para obtener su resistencia óhmica del generador de la fase “C” al neutro, obtenido un valor de $.2477 \Omega$, corrigiendo a una temperatura de 20° se obtuvo $.2472 \Omega$. Las conexiones que se realizaron se muestran en la ilustración 40.

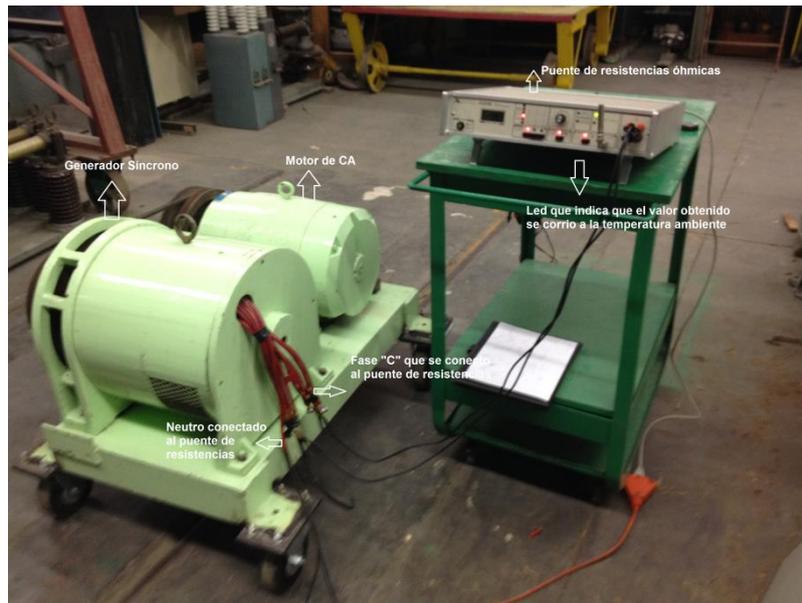


Ilustración 40. Conexión física del generador al puente universal para medir resistencias óhmicas de las fases.

La ilustración 41 es el diagrama de conexiones, que se realizó para obtener los resultados de la resistencia óhmica, el cual muestra la conexión del puente universal de resistencias óhmicas al motor de CA.

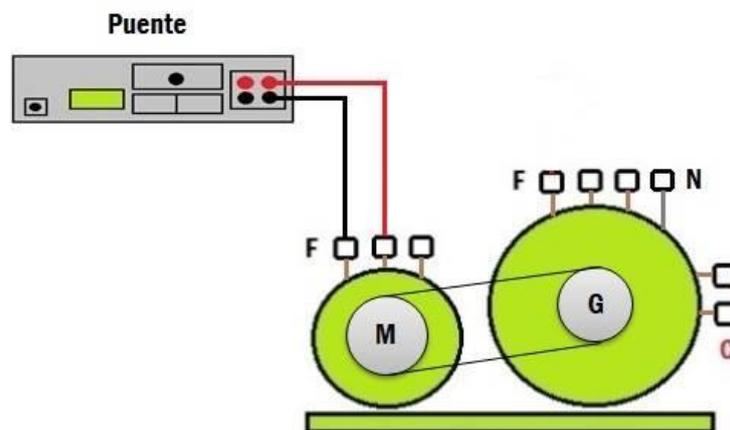


Ilustración 41. Diagrama de conexión para la prueba de resistencia óhmica, de fase a fase del motor de 20HP.

La ilustración 42 es el diagrama de conexiones, que se realizó para obtener los resultados de la resistencia óhmica, el cual muestra la conexión del puente de resistencias óhmicas al generador síncrono.

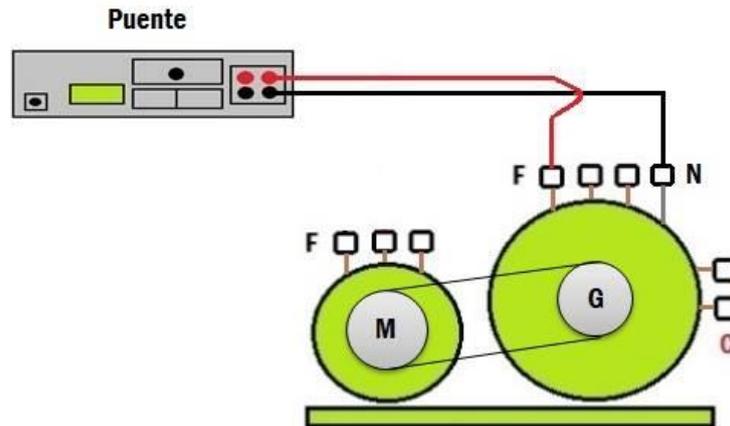


Ilustración 42. Diagrama de conexión para la prueba de resistencia óhmica, entre fase y neutro del generador.

Como se puede observar, este tipo de pruebas de recepción son esenciales para obtener información de una máquina eléctrica rotatoria que ha dejado de operar por varios años, ya que estas pruebas demuestran resultados certeros, si la máquina presenta alguna falla o si está en condiciones óptimas de operar. Estos resultados se demuestran en las tablas 7,8 y 9.

Al realizar las pruebas se debe tener cuidado al conectar las fases con el puente universal, las puntas de las fases deben de estar separadas y no tener ningún contacto con otra punta de las fases o de la carcasa de la máquina, ya que esto daría resultados erróneos.

Tabla 7. Valores obtenidos de las resistencias óhmicas entre las fases del motor con el puente universal.

Margen de Error	Fases	Sin S.T	Con S.T	Temperatura Ambiente
.0004	2 y 3	.4628	.4500	19°
.0005	3 y 1	.4642	.4542	19°
.0001	2 y 1	.4630	.4537	19°

Tabla 8. Valores obtenidos de las resistencias óhmicas de los devanados del generador, entre fases y neutro.

ERROR	SIN S.T	CON S.T	TEMPERATURA AMBIENTE
.0003	.2494	.2484	20°
.0002	.2493	.2483	20°
.0002	.2477	.2472	20°

Tabla 9. Valor obtenido de la resistencia óhmica del campo del generador.

ERROR	SIN S.T	CON S.T	TEMPERATURA AMBIENTE
0	42.37	42.16	20°

3.6 Prueba de ondas de choque o prueba de impulso

Las pruebas de ondas de choque o de impulso, proporcionan información sobre la condición del aislamiento entre espiras. Muchos fallos de los devanados empiezan como defectos de aislamiento entre espiras, entre bobinas o entre fases que eventualmente degeneran en fallos a tierra. Las pruebas de onda de choque, evalúan la integridad del aislamiento entre espiras, así

como la capacidad del aislante a tierra para soportar transitorios de frente de onda escarpado como los que pueden aparecer durante un servicio.

Este tipo de ensayos se usa tanto para el control de calidad de devanados recién fabricados o reparados, como para detectar si existe alguna falla en una máquina que ya esté en funcionamiento y que salga a mantenimiento.

La experiencia muestra que el aislamiento de las espiras puede degenerar precipitadamente por efecto de ondas anormales de sobretensión, provocadas por factores tales como descargas de rayos o por equipos de maniobra en mal estado. Sin embargo, los fallos en el aislamiento de las espiras también pueden ser causados por efectos de ondas de choque originadas en maniobras normales, cuando las condiciones del circuito son tales que el tiempo de subida de la onda de choque en los bornes de la máquina es de unos microsegundos.

Procedimiento de la prueba.

Para realizar esta prueba se precisa un generador de ondas de choque que aplique ondas de tensión, del orden de $0.2 \mu\text{s}$ de tiempo de subida y amplitud ajustable, a dos devanados simultáneamente. Es preciso, también disponer de una pantalla de visualización en la que se puedan observar las formas de onda que se obtengan al aplicar los impulsos de tensión a los devanados.

La prueba consiste en la aplicación de dos impulsos idénticos de alta tensión y alta frecuencia a dos partes iguales, pero separadas del devanado. En un motor trifásico cada fase del devanado se compara con otras dos (fases A/B, B/C, C/A). La salida de alta tensión del aparato de ensayo se conecta a dos de las fases; La tercera se conecta a la tierra del equipo de prueba, como se puede observar en la figura 43.

Si los devanados de las dos fases bajo el ensayo son iguales y no presentan deficiencias, las dos formas de ondas reflejadas serán idénticas, superponiéndose una a la otra y apareciendo una a la otra como un único trazo, como se puede observar en la figura 44.

Si los devanados no tienen fallos y están equilibrados en impedancia, los dos modelos serán idénticos; Un modelo de onda se superpondrá sobre el otro, de modo que una sola forma de onda aparecerá en pantalla. Si uno de los devanados tiene un fallo de aislamiento o un defecto estructural, su modelo no será el mismo que el del devanado en buen estado de modo que se mostrara en pantalla un doble trazo, como se puede observar en la figura 45.

Generalmente, las espiras cortocircuitadas darán lugar a diferencias bastante pequeñas en la amplitud de la forma de onda. Los defectos más graves, como pueden ser los cortocircuitos entre fases, tienden a provocar alteraciones mucho más acusadas de la forma de onda.

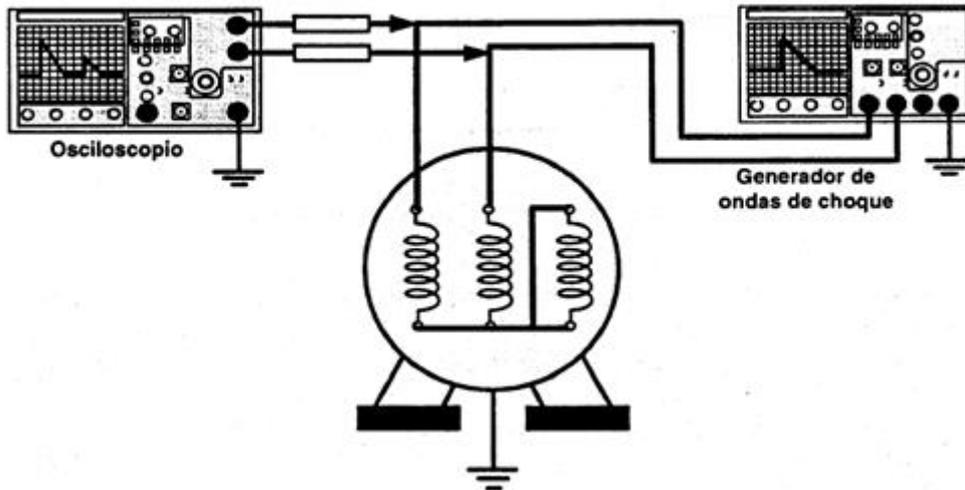


Ilustración 43. Esquema básico de ensayo de ondas de choque. Fuente. (M.F. Cabanas, 1998).

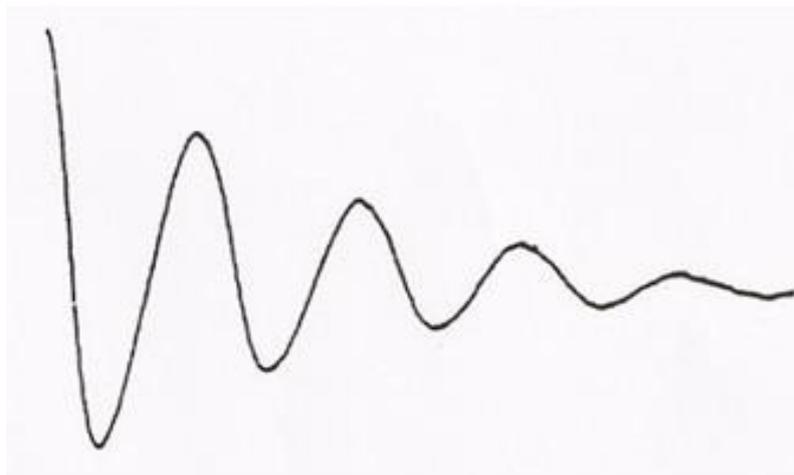


Ilustración 44. Forma de la onda para dos devanados sin falla, idénticos en prueba. Fuente (Manual. SURGER PREMIERE, 2014).

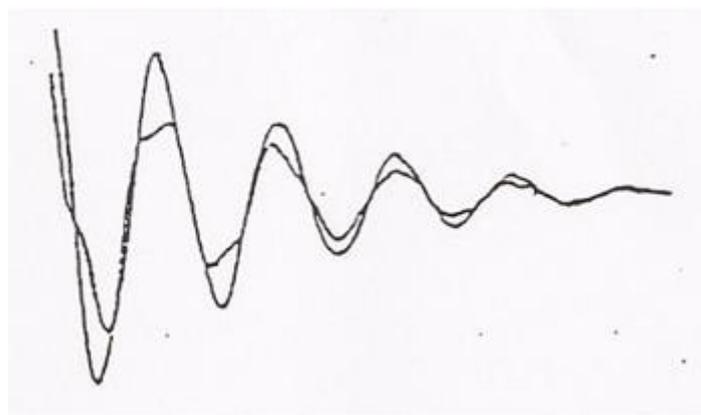


Ilustración 45. Forma de la onda para bobina defectuosa en prueba. (Manual. SURGER PREMIERE, 2014).

Los equipos de análisis de ondas de choque son más a menudo utilizados por los fabricantes de devanados para asegurar que el aislamiento de las espiras en las bobinas nuevas o en las fases completas, está intacto. El ensayo en una máquina usada es más difícil, ya que las

bobinas individuales no pueden ser fácilmente separadas una de otra. En el mejor de los casos, sólo fases completas pueden ser ensayadas sin desmantelar totalmente el devanado.

Esta prueba, a diferencia de los de resistencia de aislamiento o de sobretensión, no proporciona datos numéricos que se puedan representar. Simplemente, el resultado, es una figura que permite la detección de potenciales fallos de aislamiento. Los fallos relativos a la integridad de los devanados en sí mismos, tales como cortocircuitos entre espiras, entre bobinas o entre fases, así como devanados abiertos y a tierra, pueden ser fácilmente detectados mediante este tipo de prueba.

Aplicación de la prueba de impulso a los devanados del motor de inducción y generador síncrono del laboratorio. A continuación se describe el procedimiento de la prueba realizada.

Las bobinas trifásicas se prueban comparando un devanado con los otros dos restantes. La ilustración 46 indica cuales salidas están energizadas para una posición determinada del "SELECTOR DE CABLES DE PRUEBA ENERGIZADO" es una salida energizada y "TIERRA" es la salida de tierra.

Posición del Interruptor	Conductor 1	Conductor 2	Conductor 3	Tierra
1 - 2	En prueba	En prueba	Tierra	Tierra
2 - 3	Tierra	En prueba	En prueba	Tierra
1 - 3	En prueba	Tierra	En prueba	Tierra

Ilustración 46. Potencial en cables de prueba vs Prueba de selección del cable, en posición del interruptor.

Controles del equipo:

1. Controles del osciloscopio.
2. Controles de la sección de alta tensión.

AUMENTAR TENSIÓN: Al girar este control se ajusta la salida de tensión del equipo a las bobinas en prueba.

ENCENDER - ALTA TENSIÓN: Este selector suministra energía a los circuitos de alta tensión. El selector se ilumina indicando que el equipo esta encendido.

PRUEBA: Activa el circuito de prueba de alta tensión y energiza los cables de prueba. El selector se ilumina indicando que se está efectuando una prueba.

PRUEBA DE SELECCIÓN EN EL CABLE: Controla cual salida de prueba esta energizada.

PRUEBA DE ALTA TENSIÓN (kV): Este medidor indica la tensión aplicada. Una lectura de 12.30 indica una tensión de prueba de 12,300 V.

Operación de la prueba:

1. Se apagaron los selectores DE ENCENDIDO Y ENCENDIDO - ALTA TENSIÓN.
2. Se conectó el enchufe a una salida de 127 V.
3. Ajuste del osciloscopio.
4. Se conectaron los cables de prueba a las bobinas bajo prueba. Se conectaron también los dos cables BNC de la sección de alta tensión de la unidad de las entradas CH1 Y CH2.
5. Se aseguró que el control ELEVAR VOLTAJE estuviera colocado en cero.
6. Se activó la sección de alta tensión presionando el selector ALTA TENSIÓN - ENCENDIDO, el cual se ilumina.

7. Se colocó el SELECTOR PRUEBA DE SELECCIÓN DEL CABLE en la posición apropiada para efectuar la prueba.
8. Se presionó el selector PRUEBA. Este selector se ilumina indicando que se está efectuando una prueba. Se giró el control AUMENTAR TENSIÓN hacia la derecha.
9. Se ajustó el control AUMENTAR TENSIÓN al nivel de prueba deseado siendo este de 600 Volts.
10. Se desactivo el selector PRUEBA y se colocó el control AUMENTAR TENSIÓN en la posición cero.
11. Se giró el selector PRUEBA DE SELECCIÓN DEL CABLE hacia el próximo grupo de bobinas a probarse.
12. Se repitieron los pasos 8 - 11 anteriores.
13. Se presionó el selector ENCENDER - ALTA TENSIÓN para encender la sección de alta tensión.

La ilustración 47 muestra la fuente que se utilizó para realizar esta prueba, la cual muestra resultados por medio de gráficas que se imprimen en su pantalla, podemos ver solo un canal o ambos. Y también se puede elegir la tensión de impulso que se requiere aplicar para esta prueba.

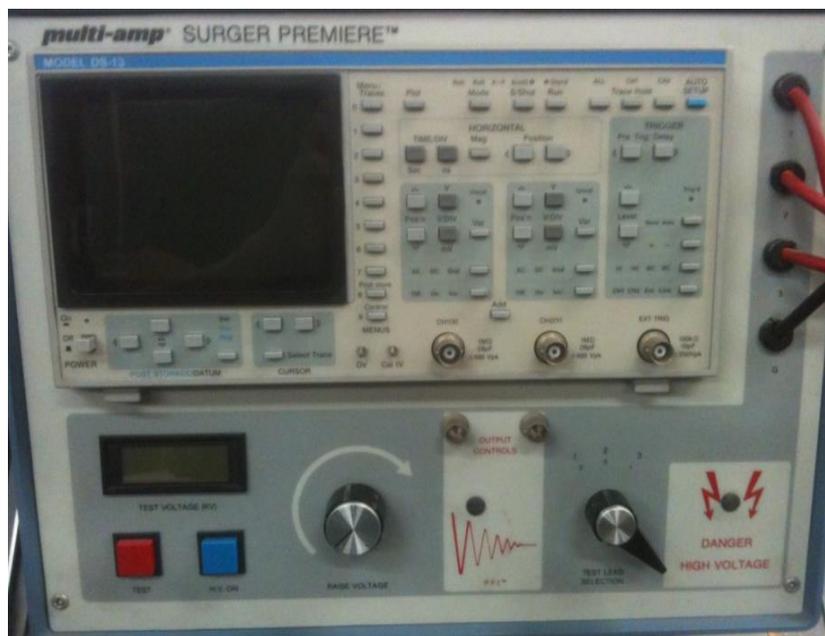


Ilustración 47. Equipo utilizado para la prueba de impulso [Manual. SURGER PREMIERE, 2014].

La ilustración 48 muestra cómo se conectaron las puntas de la fuente, a los conductores de las fases del motor, se observa que las puntas “A”, “B” y “C” de la fuente se conectaron a las fases “A”, “B” y “C” del motor respectivamente, y el neutro se conectó a la carcasa del motor.



Ilustración 48. Conexiones del equipo de prueba al motor de inducción para la realización del ensayo.

De acuerdo a lo anterior descrito se obtuvieron los siguientes resultados.

1. Motor de inducción - Prueba a 530 Volts.

Selección de fases en prueba	Falla en devanados	Buen estado en devanados
1 - 2	-	X
2 - 3	-	X
1 - 3	-	X

La ilustración 49 muestra una forma de onda obtenida, al aplicar una tensión de 530 V de CC al motor de CA, se puede observar que al comparar la forma de onda de la fase "A" con respecto a la fase "B", son valores muy parecidos, y esto nos garantiza que no hay fallos en sus aislamientos.

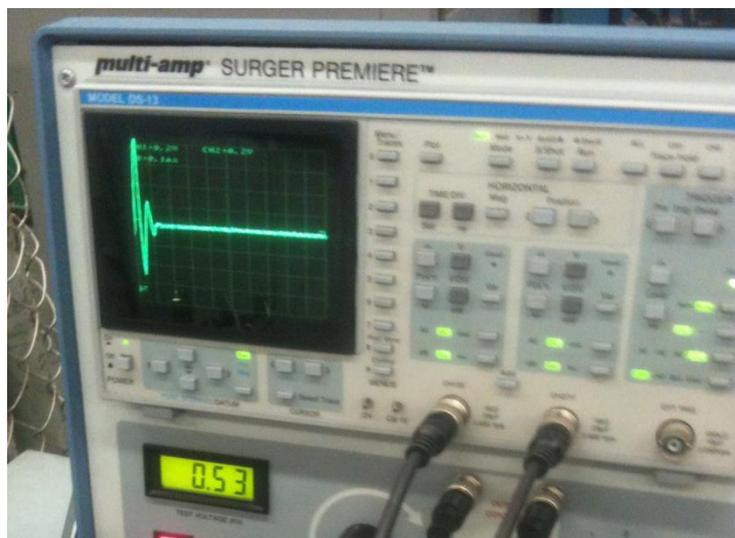


Ilustración 49. Forma de onda obtenida para las pruebas de las fases del motor de inducción.

Se determina que como el motor opera a una tensión de 220V/440V, pasa la prueba de impulso ya que aplicándosele una tensión de 500 Volts muestra ondas idénticas en los tres arreglos de las fases del motor.

2. Generador síncron - Prueba a 530 Volts.

Selección de fases en prueba	Falla en devanados	Buen estado en devanados
1 - 2	X	-
2 - 3	-	X
1 - 3	X	-

La ilustración 50 muestra la forma de onda obtenida de la fase "A" y de la fase "C" del generador, se puede observar que los valores son semejantes.

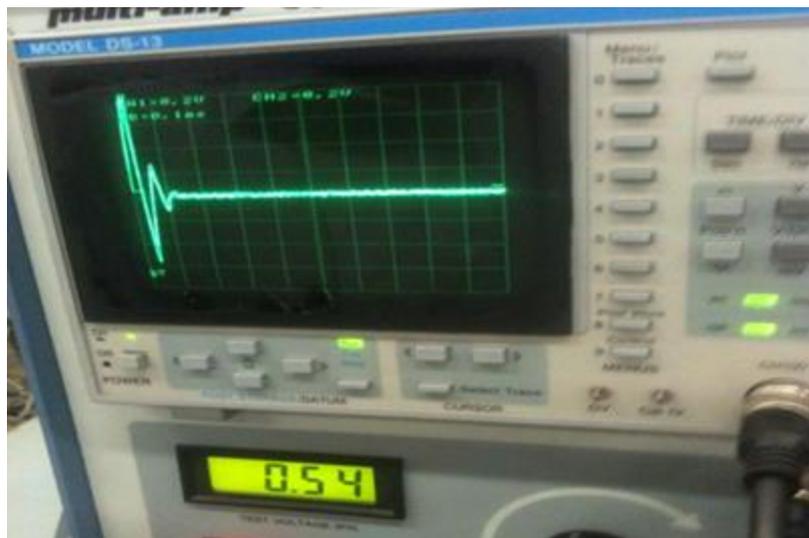


Ilustración 50. Forma de onda obtenida para el arreglo de fases "1 - 3".

La ilustración 51 muestra el diagrama de conexiones que se procedió a realizar para esta prueba, se puede observar cómo se conectó el generador de impulsos al motor de CA.

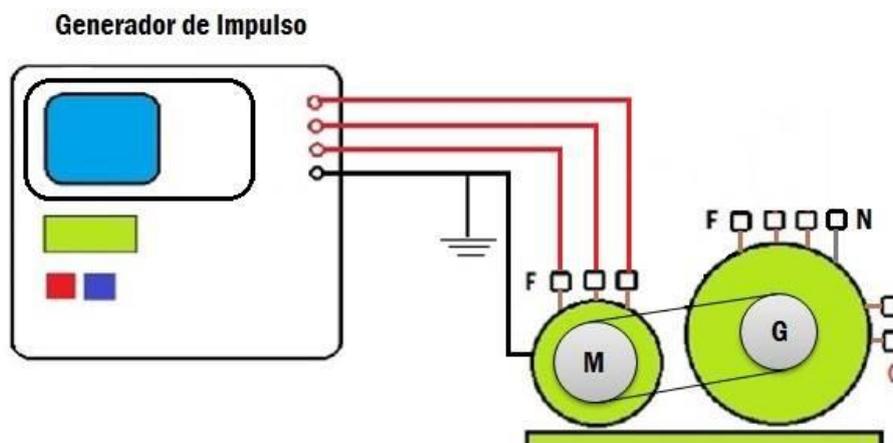


Ilustración 51. Diagrama de conexiones para el motor de CA, que se realizó para la prueba de ondas de choque.

La ilustración 52 muestra el diagrama de conexiones que se procedió para realizar esta prueba, se puede observar cómo se conectó el generador de impulsos al generador síncrono.

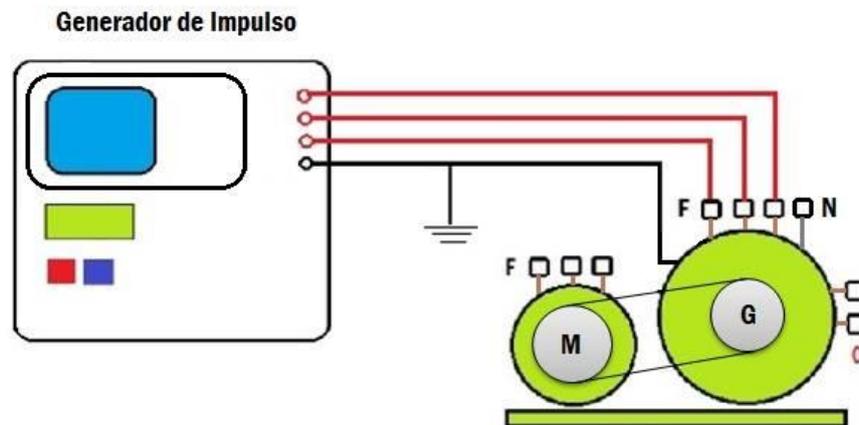


Ilustración 52. Diagrama de conexiones para el generador síncrono, que se realizó para la prueba de ondas de choque.

Al realizar la prueba entre las fases de los devanados del generador síncrono se presentó una falla en el devanado "B", encontrando bobinas no equivalentes entre las fases "A" y "B", y las fases "C" y "B". Se determinó que como la prueba realizada esta determinada para un valor de 500 Volts y siendo que el generador síncrono trabaja a una tensión menor a la que se le aplica en esta prueba 220V/440V, este se encuentra en condiciones para operar, ya que jamás va a superar la tensión que se le aplica en esta prueba. Aunque en esta prueba se demuestra que este equipo está comenzando a presentar fallas eléctricas, y esto se debe a que los devanados presentan humedad o suciedad. Otra explicación es que el diseño de un devanado es diferente, ya que no se sabe si estos devanados fueron remplazados o se les aplicó algún tipo de arreglo, el cual afectaría el número de espiras que tiene el devanado. De este modo un devanado podría tener mayor número de espiras o menor número de espiras, provocando un pequeño desequilibrio en su sistema de aislamiento.

3.7 Prueba de cortocircuito sostenido

Al realizar el mantenimiento al generador síncrono y debido a que este permaneció durante un periodo prolongado a la intemperie, los devanados del estator pudieron ser afectados a la acción de la polución y humedad del ambiente.

Debido a esto se realizó en los devanados del estator una limpieza de aire comprimido para remover las partículas de polvo que pudieran afectar el buen funcionamiento de la máquina, así mismo se procedió a realizar la prueba de cortocircuito sostenido, esto con el fin de eliminar la humedad que puede haber absorbido el conductor en los devanados trifásicos del estator.

Para realizar esta prueba de mantenimiento se procedió de la siguiente manera:

- a) Se cortocircuitaron todas las fases del generador síncrono fase "A", fase "B" y fase "C".
- b) Se puso en operación el generador síncrono aplicando una tensión del 125% de la corriente nominal durante una hora.

Al encontrarse el generador síncrono girando con las terminales cortocircuitados lo que se hace es calentar el devanado trifásico, este calentamiento elimina la humedad superficial y absorbida por el aislamiento de las bobinas.

La prueba de cortocircuito puede realizarse fácilmente, ya que para su implementación no se necesitan equipos costosos ni de difícil consecución.

La ilustración 53 muestra cómo se pusieron en cortocircuito los conductores de las fases del generador síncrono para realizar esta prueba.

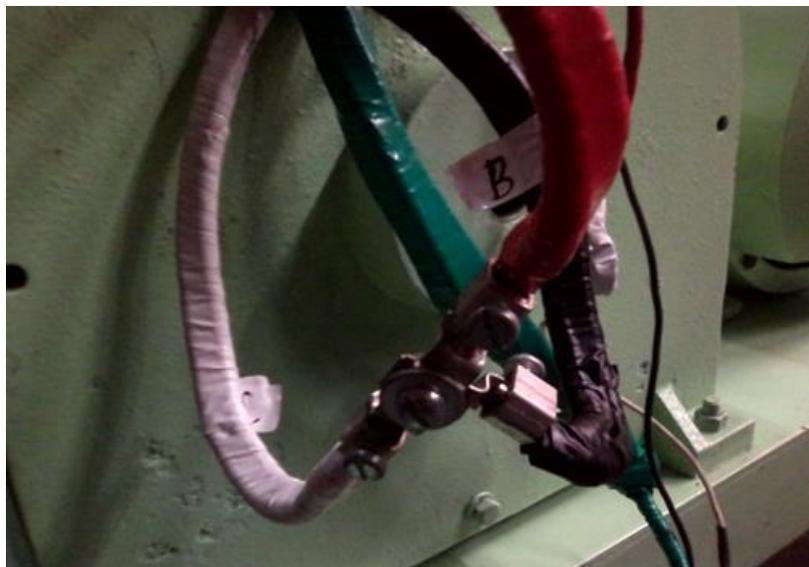


Ilustración 53. Fases en cortocircuito para la eliminación de la humedad en los devanados.

3.8 Diagnóstico del grupo motor de CA - Generador síncrono

Al realizar estas pruebas de mantenimiento básicas para el grupo motor - generador, se generó un diagnóstico para la máquina rotatoria, el cual es un diagnóstico positivo, ya que los resultados de las pruebas, cumplen con los estándares de las normas IEEE y manuales, que garantizan que esta máquina pueda operar y se puedan obtener buenos resultados de la máquina.

Las pruebas dieron resultados favorables, en la resistencia del aislamiento de los devanados, en que los devanados, no tienen ninguna fisura o algún cortocircuito entre ellas que genere alguna falla futura, los conductores de las fases del motor, los conductores de las fases de salida del generador y del campo remanente están en buenas condiciones para su buen desempeño cuando esta máquina se lleve en operación, la banda que acopla al motor con el generador, está en buenas condiciones para poder llevar a cabo su arranque, pero se recomienda sustituirla para no generar algún accidente cuando se lleve a cabo su puesta en operación del grupo motor - generador. En general se encontró en óptimas condiciones para poderlo llevar a su puesta en operación, sin tener alguna complicación o fallas que dañen a los equipos que se les conecte a este grupo.

Un mantenimiento preventivo es el indicado para solucionar este tipo de problemas que ha sufrido esta máquina.

Con este mantenimiento preventivo se procederá a sustituir la banda que acopla a estas máquinas eléctricas, se sustituirán las cintas aislantes de los conductores de las máquinas y se pondrán cintas identificadores para poder identificar las fases del grupo motor - generador, se realizará una limpieza tanto internamente como exteriormente del equipo, se lijara y pintara para que las carcasa este en buenas condiciones. Se instalaran llantas para su fácil desplazamiento, lo que la convierte en una unidad móvil generadora de distintos tipos de tensiones y frecuencias, utilizando un controlador de velocidad de 20HP [Manual. BALDOR

DRIVERS VS1MD, 2014] para el motor de inducción, sin tener que utilizar una fuente de tensión alterna variable.

La tabla 10 muestra los resultados que se obtuvieron al concluir las pruebas básicas de mantenimiento al grupo motor de CA - generador síncrono.

Tabla 10. Resultados obtenidos de las pruebas de mantenimiento básicas.

Pruebas realizadas al grupo motor - generador síncrono				
Prueba	Norma	Detección	Aplicación	Resultado
Resistencia óhmica de los devanados	IEEE-112 - 2004 IEEE 115 - 2009	Equilibrio entre fases, cortocircuito entre espiras y espiras abiertas en algún punto.	Medición de la resistencia de los devanados con un puente digital.	Continuidad de los devanados, conexión correcta de los devanados. Base para comparar con pruebas futuras.
Resistencia de Aislamiento e índice de polarización (IP)	IEEE Std 43-2000	Deterioro, contaminación, humedad.	500VCD	$R_m > K_v + 1$ $IP \geq 2$
Prueba de Choque eléctrico o Prueba de Impulso	IEEE Std 522-1992	Rigidez dieléctrica de las fases	600VCD	Ondas iguales

Capítulo IV

Mantenimiento preventivo al grupo motor de CA - generador síncrono y puesta en operación

4.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo surge de la necesidad de solucionar los problemas de mantenimiento correctivo. Basado en revisiones periódicas, para poder detectar averías imprevistas, o evitar que las máquinas principales de una industria, estén fuera de servicio en periodos de producción, ya que estas máquinas no pueden ser sustituidas fácilmente, ya que generaría un gasto excesivo y pérdidas de productividad.

Es importante tener en cuenta los criterios estadísticos, para poder intervenir en tiempos adecuados y así prevenir averías no planeados, ya que si estos tiempos no son los adecuados, podrían realizarse importantes pérdidas.

El mantenimiento preventivo tiene una serie de actividades que deben ser realizadas, para que este pueda ser llevado con satisfacción:

- Limpieza y revisiones periódicas.
- Protección contra los agentes ambientales.
- Conservación de equipos.
- Control de la lubricación.
- Reparación y sustitución de los puntos del sistema identificados como puntos débiles.
- Reparación y sustitución de materiales planificados.

Una de las principales ventajas del mantenimiento preventivo, es que reduce las paradas eventuales de las máquinas, obtenida al introducir un cierto periodo de reparación y observación del sistema.

Un inconveniente que tiene este tipo de mantenimientos, es que es difícil estimar los tiempos correctos para realizar las intervenciones. Si se interrumpe el funcionamiento normal de un sistema y se altera su vida útil de forma innecesaria, su reserva de uso será totalmente desaprovechada, además de producir una acumulación inútil de actividades preventivas, que aumentan el gasto.

4.2 Aplicación del mantenimiento preventivo al grupo motor - generador

Después de realizar las pruebas de mantenimiento eléctricas básicas, se determinó que el grupo motor - generador, se encontraba en óptimas condiciones para poder llevarlo en operación y tener buenos resultados, tanto en el arranque del motor, y obtener tensiones en el generador, ya que estas pruebas demostraron resultados confiables para su puesta en operación.

Para realizar la limpieza adecuada a nuestro grupo motor - generador, se procedió a quitar la carcasa del generador y del motor, para poder limpiar las partes internas de las máquinas, limpiamos las partes afectadas por el polvo y humedad, como el estator y rotor. Ya que como se mencionó anteriormente, este se encontraba con una capa de polvo, por todos los años en los que ésta máquina a estado fuera de servicio.

Para esta limpieza se emplearon materiales como brochas, cepillo con cerdas metálicas, aire comprimido, entre otros. Este procedimiento se realizó lo más cuidadosamente posible, ya que no se debe dañar el aislamiento del estator y rotor.

El procedimiento es sencillo, pero es de suma importancia detectar las zonas con más índices de suciedad, ya que los factores ambientales, como la humedad y suciedad perjudican la vida útil de las máquinas eléctricas, es necesario tenerlo en consideración y tomar algunas precauciones, como la limpieza periódica de las máquinas y que estas se encuentren en lugares donde tengan una temperatura adecuada y los cambios ambientales no les afecte.

La ilustración 54 demuestra la capa de polvo que cubría todo el interior del generador, la cual fue retirada por medio de una limpieza con brochas y aire comprimido. Se puede observar como el conjunto de cables fue limpiado, al igual que el estator y rotor del generador.



Ilustración 54. Limpieza al estator del generador síncrono de 15 kW.

Para poder retirar el rotor del generador síncrono, se procedió a emplear un polipasto con soporte de hasta una tonelada, que fue montando en una columna que soporta hasta cinco toneladas, ya que si se trata de quitar el rotor de forma manual, se arriesga a dañar al rotor, al estator e incluso, al personal mismo, puesto que el rotor es una parte muy pesada y compleja de extraer, sin ningún tipo de herramienta. Haber empleado el polipasto para la extracción del rotor, fue de gran ayuda, ya que no se utiliza esfuerzo físico de riesgo y se garantiza que al extraerlo, las espiras y los devanados no corren riesgos de ser dañados.

Como se puede observar en la ilustración 55, el generador fue retirado de la plataforma, se puede observar que en el polipasto se desprende una cadena con un gancho que soporta un peso de dos toneladas, esta cadena es manipulada manualmente para poder subir y bajar el generador (este procedimiento se realizó con la debida precaución, ya que como se menciona anteriormente, el rotor del generador es una parte muy pesada, y un movimiento en falso puede causar severos accidentes). El gancho del polipasto fue sujetado a la armella cerrada que se desprende del estator del generador, como se muestra en la ilustración 55.

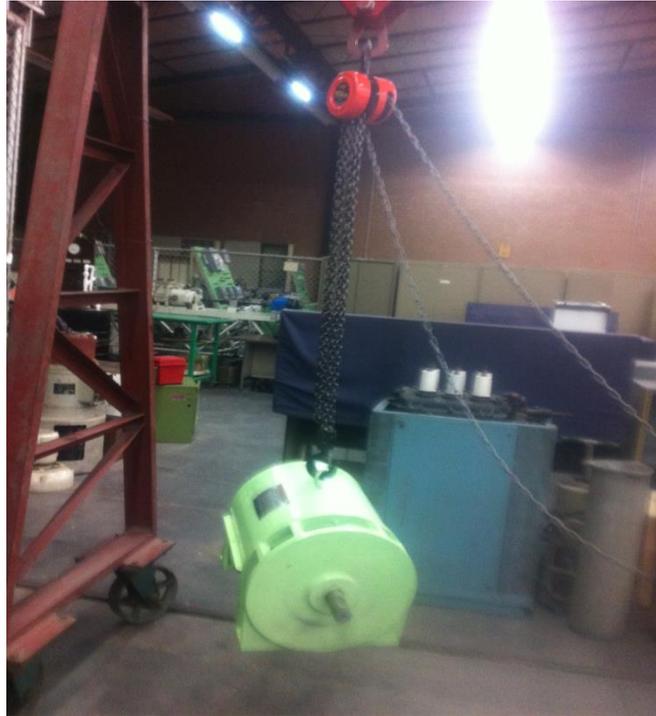


Ilustración 55. Desprendiendo el generador de la plataforma del grupo motor - generador, por medio del polipasto.

Posteriormente el generador fue montado en una base de madera, para que se procediera a extraer el rotor y el ventilador, quitando la carcasa del generador. Este proceso se realizó de una manera muy cuidadosa, ya que si se emplea el polipasto de una manera inadecuada, el generador podría moverse en forma de péndulo y ocasionar algún golpe al personal.



Ilustración 56. Extracción del rotor del generador síncrono.

Como se puede observar en la ilustración 56, el rotor se encontró sin ninguna avería, pero si se encontró sucio, la pintura dieléctrica se encontró deteriorada, y en los interiores de los devanados estaba lleno de polvo.

Por lo que se procedió a limpiar toda esta suciedad que cubría al rotor, utilizando brochas y aire comprimido para remover el polvo que cubría el rotor, se utilizó un cepillo de cerdas metálicas para remover la suciedad del ventilador.

Una vez terminada la limpieza de las partes del rotor del generador, se procedió a aplicar una capa de pintura dieléctrica a los devanados del rotor, ya que como se había mencionado anteriormente, el dieléctrico que cubría los devanados estaba deteriorado, por lo que se aplicó esta capa de pintura dieléctrica para seguir prolongando la vida útil de estos devanados, aplicando uniformemente la pintura por todo el devanado, utilizando una brocha convencional para pintar de cerdas largas, ya que el desgaste del dieléctrico abarcaba la parte superior, inferior y partes profundas entre cada espira de los devanados, asegurando de este modo, que la pintura se distribuya por todas las espiras de los devanados. De igual manera se pintó el ventilador, por medio de pintura en aéreo sol. Como se puede observar en la ilustración 57.



Ilustración 57. Aplicación de pintura dieléctrica al generador síncrono.

Una parte que se procedió a remplazar de la flecha del generador, fue el rodamiento, ya que este se notó deteriorado por el uso que se le dio, de este modo se asegura que los valeros estén en perfecto estado y garantizar su optima rotación del generador, por este motivo se instaló un nuevo rodamiento a la flecha del generador, tal y como se puede observar en la ilustración 58.



Ilustración 58. Rotor del generador síncrono, con la aplicación de pintura y de valeros nuevos.

En la ilustración 59 se observa cómo se retiraron las tapas de la carcasa del motor para proceder a retirar el polvo que cubría al estator, este procedimiento se realizó con brochas y aire comprimido con suma precaución para no realizar algún daño.

En la ilustración 60 se observa el rotor del motor de CA, el cual fue retirado con suma precaución para no dañar alguna parte del mismo, se puede observar que en las partes donde se encontraba sucio, fueron limpiadas, retirando el polvo que este tenía, por medio de brochas y aire comprimido, de igual modo se puede observar que a las tapas de la carcasa del motor también se le aplicó una limpieza, retirando la suciedad que estas tenían.



Ilustración 59. Limpieza con brocha y aire comprimido al estator del motor de 20 HP.



Ilustración 60. Limpieza al rotor del motor de 20HP.

Se procedió a reparar los daños superficiales del generador, ya que este se encontraba con algunos golpes y partes fracturadas en su carcasa, por lo que se emplearon herramientas que no perjudiquen más el estado de la máquina.

Se utilizaron dos martillos de goma, con los que se arregló un golpe que tenía la tapa del generador, estos martillos no afectan el material de la tapa, ya que son especiales para sacar golpes de metales, sin traspasar dicho metal, pero se debe tomar sus precauciones y hacerlo con cuidado para no sufrir algún daño físico, al personal que lleva acabo esta acción, por lo que se recomienda siempre, que estas actividades las realice personal con experiencia y con las herramientas adecuadas.

Otra parte que se encontraba dañada de la carcasa, que se procedió a reparar, fue la malla que permite que fluya el aire que está dentro del generador (esta fractura que sufrió, no perjudica a la ventilación del generador, pero de igual modo se procedió a unir las partes fracturadas de esta zona).

Este procedimiento es para que posteriormente se lije y se pinte el grupo motor - generador, con el color que originalmente se encontró y así mismo se elimine la humedad que la carcasa contenía, ya que algunas partes se encontraban oxidadas y con desprendimiento de pintura en todo el alrededor de la carcasa.

Para garantizar que la carcasa del motor y del generador no se oxide por cuestiones climatológicas, se limpió y lijo la tapa y carcasa del motor, de igual modo para el generador, utilizando una lija, de este modo se retira la pintura vieja y el óxido que se encontraba en algunas partes de la carcasa del generador. Una vez lijado el grupo motor - generador, volvemos a limpiar los restos de pintura que se esparcieron.

En la ilustración 61 se observa que para proceder a lijar al grupo motor - generador, se tuvo que retirar las tapas del motor, la banda de acoplamiento y otras partes del mismo, para poder lijar de una mejor manera, se puede observar como las partes oxidadas fueron retiradas.

El lijar es un trabajo pesado, ya que quitar la pintura vieja, no es tarea fácil y se debe hacer lo mejor posible, si se aplica la pintura nueva sin haber limpiado y lijado, esta se oxidara rápidamente, produciendo un gasto innecesario.

Como se puede observar en la ilustración 61, se procedió a retirar las tapas del motor, se lijo de una mejor manera, de igual modo retirando la carcasa del generador, se lijo cómodamente, de este modo se obtuvieron buenos resultados al lijar, ya que como anteriormente se dijo, es

un procedimiento que se debe de realizar de la mejor manera posible, para que el objetivo de la pintura se cumpla.



Ilustración 61. Retirando la tapa del motor de 20 HP.

En la ilustración 62, se observa que se retiró la tapa del generador, para lijar por separado estas piezas, la placa de características no se puede quitar, por lo que se lijó lo más cuidadosamente posible al estar cerca de la placa de características para no dañarla.



Ilustración 62. Lijando al grupo motor - generador.

Al terminar de lijar, se procedió a pintar al motor y al generador, con el color original que este se encontró, utilizando pintura en aéreo sol (se puede utilizar brocha u otro artefacto para poder pintar). Al lijar la pintura vieja, la pintura nueva se adhiere de una mejor manera, y esta se encargara de que no se oxide la carcasa del motor y del generador, posteriormente se tendrá

que realizar limpieza periódica para que la pintura perdure por bastante tiempo y siga cumpliendo con su objetivo de evitar el óxido en la plataforma y carcasa de las máquinas.



Ilustración 63. Aplicación de la pintura al motor de 20HP, por medio de pintura en aéreo sol.

En la ilustración 63 se puede observar cómo se procedió a pintar al grupo motor - generador, cubriendo las partes expuestas para que no se pinten, como el estator del motor, las placas de datos de ambas máquinas, y la polea del generador.

La ilustración 64 muestra cómo se procedió a aplicar una capa de “prymer” a la polea del motor, con esto se evita que la humedad aparezca de nuevo, siempre y cuando se aplique un mantenimiento periódico adecuado.



Ilustración 64. Pintando las partes del grupo motor - generador.

Se instalaron unas zapatas de aluminio que aguantan hasta 90 A, para tener un mejor contacto al realizar las conexiones de alimentación del motor, esto garantiza obtener mejores resultados

y así mismo no dañar los conductores haciendo amarres que fracturen los hilos del conductor, además de que es más fácil hacer las conexiones con este tipo de zapatas mecánicas. De igual modo se le instalaron zapatas al campo remanente del generador (para poderlo alimentar con una fuente de CD y asegurar un excelente contacto entre los conductores de la fuente y el campo del generador) y de los conductores de las fases del generador.

Algo que se notó y que afectaba una parte del conjunto de conductores del generador, es que este se ahorcaba por su propio peso, con una parte de la carcasa, ya que este es de puro aluminio como se muestra en la ilustración 65, por lo que se le puso una capa de plástico, reduciendo el contacto que existe entre el conjunto de conductores con la carcasa del generador, de este modo se evita tener fracturas en esa zona de los conductores posteriormente.

En la ilustración 65 se puede observar claramente como las cintas aislantes que cubren a los conductores están sucias y deterioradas como se comentaba anteriormente, por lo que se procederá a remplazar la cinta aislante de los conductores de las fases, el neutro y el campo del generador, con esta cinta aislante nueva, se garantiza seguir teniendo en buenas condiciones este aislante entre estos conductores.



Ilustración 65. Conductores de las fases afectados por la carcasa del generador.

Se realizó la sustitución de la cinta aislante del conjunto de conductores de las fases del generador, y el campo remanente, ya que como anteriormente se mencionó, estos se encontraban sucios y deteriorados. Por lo que se remplazó toda esa cinta vieja por una nueva.

En este proceso se pusieron cintas de colores para identificar cada una de las fases, el neutro y la polaridad del campo remanente. Para no confundir cada una de las fases, ya que este conjunto de conductores, se encontraron con cintas identificadoras, pero la secuencia de las fases estaban mal identificadas, por lo que se procedió a identificar que fase era cada uno de los conductores, por medio de un detector de fases.

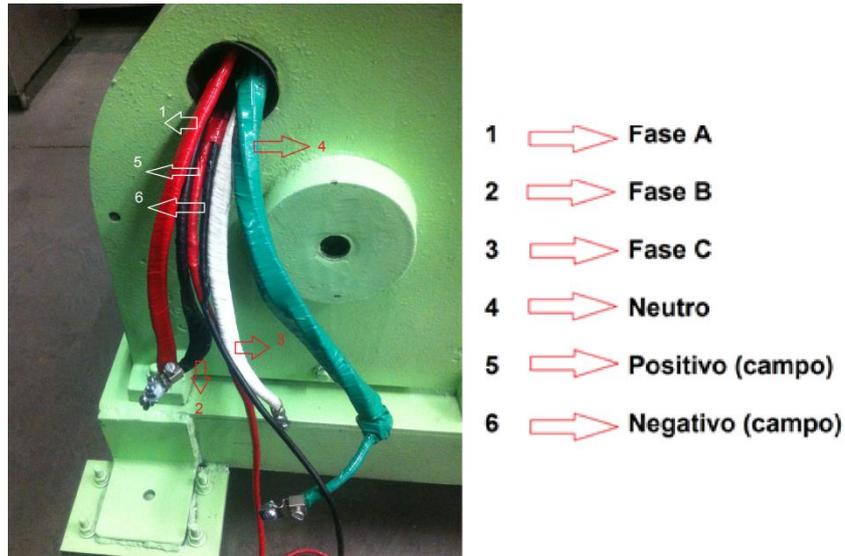


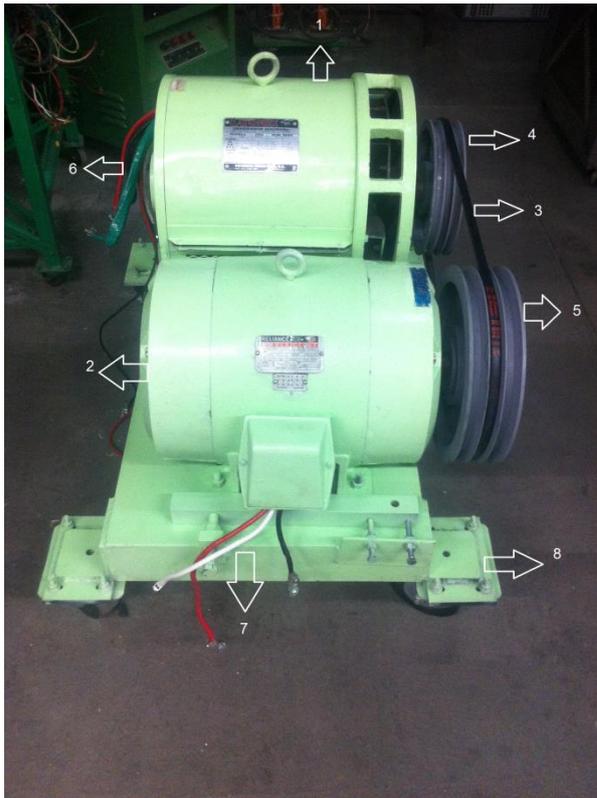
Ilustración 66. Sustrucción de las cintas aislantes viejas, por cintas aislantes nuevas.

Se procedió a identificar la secuencia de fases, de esta manera se pudieron identificar las fases “A”, “B” y “C”, poniendo las cintas aislantes de colores, “rojo” para la fase “A”, “negro” para la fase “B” y “blanco” para la fase “C”, al neutro se le aplico el color verde y a los conductores del campo remanente se le aplicaron los colores rojo y negro, para identificar la polaridad del mismo, “rojo” para el conductor positivo y “negro” para negativo. Con este proceso se garantiza que los conductores están perfectamente aislados y también se garantiza una identificación inmediata de las fases. Tal y como se puede observar en la ilustración 66.

En este caso en particular, el color que se le dio a cada una de las fases, no está basado en ningún color establecido por alguna norma o manual.

Finalmente, se pusieron todas las piezas en su lugar, se puso el rotor en su lugar, poniendo sus respectivas tapas, se puso la tapa en la carcasa del generador, y se instalaron tornillos, tuercas y rondanas nuevas, para apretar las piezas que fueron retiradas por el mantenimiento preventivo. El grupo motor - generador, ya cuenta con pintura nueva, zapatas en cada conductor que tiene, cintas aislantes nuevas en las fases y está limpio por dentro y fuera de la máquina. Además de que ya tiene instaladas llantas, para que de esta manera sea una fuente de energía móvil y sea fácil su desplazamiento.

En la ilustración 67 se puede observar como quedo el grupo motor - generador al concluir el mantenimiento preventivo, se puede observar que el generador, el motor, las poleas y la plataforma fueron limpiados y pintados, también se puede observar que la banda de acoplamiento fue sustituida por una banda nueva, los conductores de las fases del generador y del motor ya están identificados y se sustituyó la cinta de aislar deteriorada con la que se encontró, también se puede observar que ya cuenta con las llantas para que este se pueda mover fácilmente.



- 1 → Generador síncrono
- 2 → Motor de CA
- 3 → Banda de acoplamiento
- 4 → Polea del generador
- 5 → Polea del motor
- 6 → Fases y campo del generador
- 7 → Fases del motor
- 8 → Llantas del grupo motor - generador

Ilustración 67. Grupo motor de CA - generador síncrono después de haber realizado un mantenimiento preventivo.

La ilustración 68 muestra claramente el estado en el que se encontraron las poleas y la banda que acopla a estas máquinas eléctricas, se puede observar la suciedad y el óxido que las poleas tenían antes de realizarle el mantenimiento.

En la ilustración 69 se puede observar el estado en el que se encontraba en general el grupo motor - generador, se puede observar toda la suciedad que este tenía cuando se encontró, no contaba con llantas en la plataforma, los conductores de las fases del motor y del generador se encontraban sucios y sin zapatas para tener mejor contacto en sus conexiones, la pintura ya estaba en malas condiciones, las poleas estaban totalmente sucias al igual que la banda de acoplamiento. En esta ilustración se puede observar claramente el resultado de aplicar un mantenimiento preventivo a esta máquina eléctrica rotatoria.

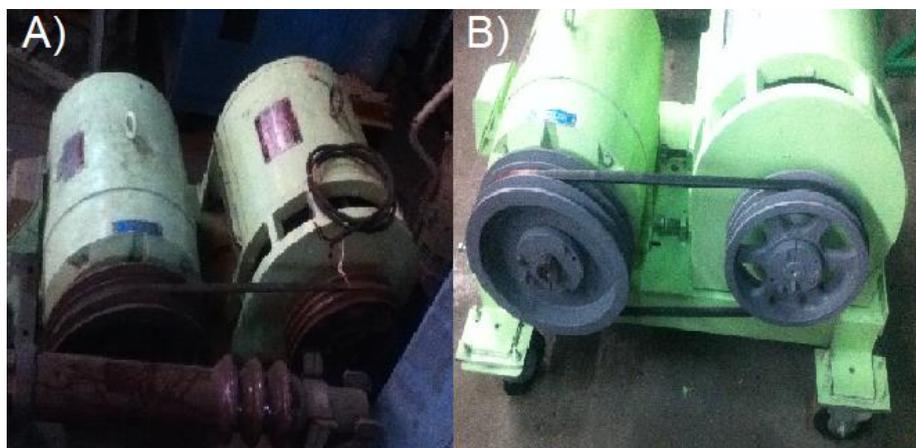


Ilustración 68. Comparación de las poleas del grupo motor generador. A) Poleas y banda de acoplamiento antes de realizar el mantenimiento. B) Poleas y banda de acoplamiento después de re haber realizado el mantenimiento.

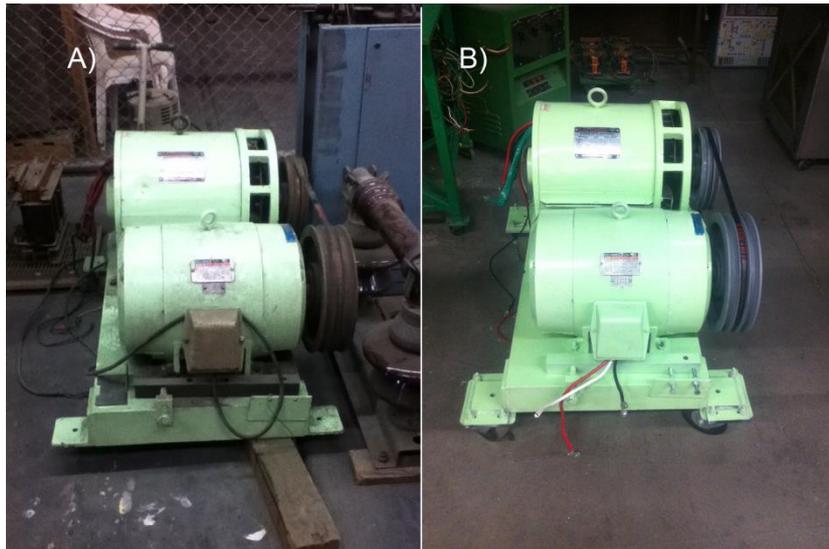


Ilustración 69. Comparación del grupo motor - generador. A) Grupo motor generador antes de realizar el mantenimiento. B) Grupo motor - generador después de haberle realizado el mantenimiento.

Con esto queda listo para poderlo llevar a su puesta en operación y obtener mejores resultados en las pruebas de entrega, ya que no se presentó ningún problema al realizar el mantenimiento preventivo, con lo que se espera obtener mejores resultados al realizar las pruebas de entrega, en comparación con los resultados de la pruebas de recepción.

4.3 Puesta en operación del grupo motor CA - generador síncrono

Una vez realizadas las pruebas básicas de mantenimiento, comprobando que el estado del grupo motor generador se encuentra en condiciones para operar, se procedió a realizar la puesta en marcha del grupo motor de CA-generador síncrono.

Los motores de inducción pueden ser puestos en marcha conectándolos simplemente a la red con capacidad instalada para arranque a plena tensión o con fuente de tensión regulada. Esto solo es en algunas ocasiones, pero esto también podría ser contraproducente. Un claro ejemplo es cuando al arrancar el motor, este consume una corriente mayor, lo que puede causar una caída en el voltaje del sistema de potencia, convirtiendo su arranque inaceptable en el lugar donde se encuentra instalado. En este caso en particular el arranque del grupo - motor generador síncrono se realizó a través de una fuente de tensión variable, puesto que el motor de CA (motor de inducción) se llevó a la tensión nominal de 220V, no afectando el sistema eléctrico, y conociendo que las características de arranque en motores de mayor capacidad afectan el sistema de la red se requiere de un sistema de arranque, no siendo este el caso para el motor de CA del grupo. Tal y como se muestra en la ilustración 70.

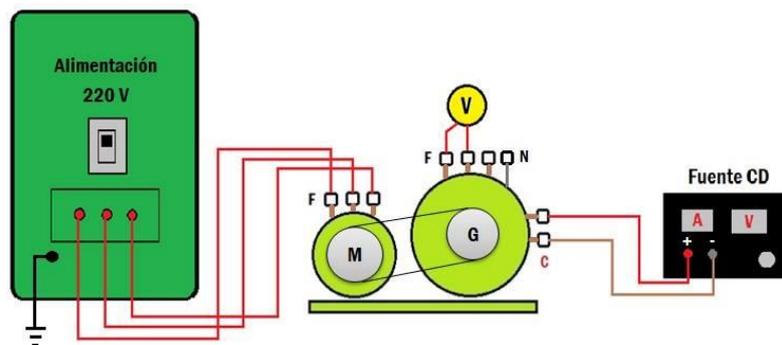


Ilustración 70. Diagrama de conexiones para el arranque del grupo - motor generador síncrono.

El grupo motor-generator se arrancó como se muestra en la ilustración 71, con tensión regulada hasta su tensión nominal de 220 volts y se obtuvieron los valores, como los muestra la tabla 11.



- 1 ➡ Motor de CA.
- 2 ➡ Generador síncrono.
- 3 ➡ Carga resistiva.
- 4 ➡ Fuente de CC.
- 5 ➡ Interruptor de 30A.

Ilustración 71. Conexión de arranque del grupo motor generator síncrono.

Tabla 11. Valores obtenidos al arrancar por primera vez el grupo motor generator síncrono.

SIN CARGA				
Tensión de arranque nominal (CA)	Tensión remanente generada (CA)	Tensión de campo CD	RPM	Frecuencia (Hz)
220V	97V	-	2038	67

Se comprobó que este grupo motor - generator opero correctamente sin presentar ningún problema al ponerlo en operación. Lo que se pudo observar de los resultados, son valores que están por encima de la operación normal, se observa que la tensión y la frecuencia que se generan no son los adecuados debido a su acoplamiento mecánico de poleas y banda, y por lo tanto se deberá tener cuidado al tipo de carga a la que se planea alimentar, en las pruebas, cuando se alimenta una carga resistiva, no afecta el valor de 67 Hz, pero si se desea alimentar otra tipo de carga se deberá de tener cuidado con la frecuencia y tensión. Ver ilustración 72.

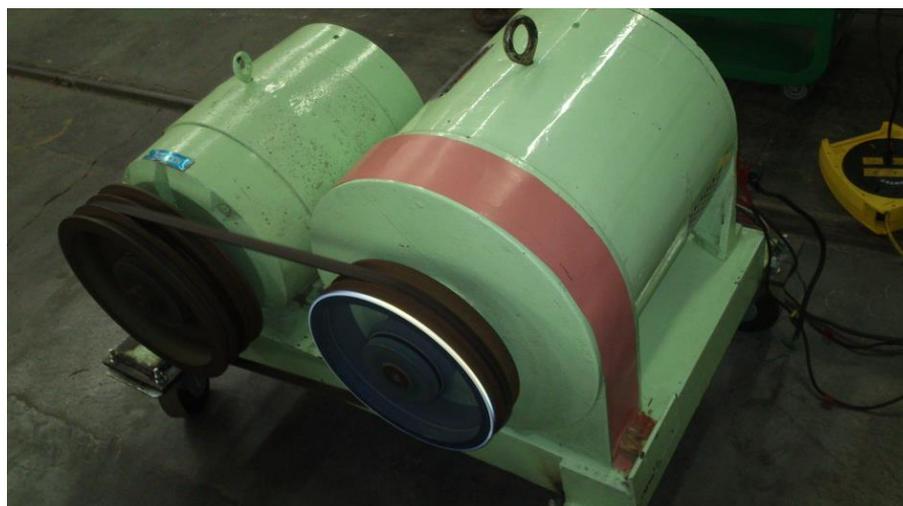


Ilustración 72. Medición de las revoluciones por minuto (rpm) del grupo - motor generator síncrono.

Un problema surge de estos valores obtenidos ya que este grupo motor - generador se pretende utilizar para realizar pruebas a equipos como transformadores y motores de CC y CA, en los que se pueda trabajar a una diferente frecuencia y tensión, sin tener que usar la frecuencia de la red (60Hz) a la que está conectada. Pero esto es solo para unas ciertas pruebas que se les puede realizar a motores de rotor bloqueado o a transformadores. Si se quiere utilizar este grupo motor - generador para pruebas en las que se debe de entregar valores específicos de su placa de características (220V ó 440V) se procedió a la siguiente solución.

La solución que se le dio a este problema fue el de utilizar un drive [GROUP, 2012], este dispositivo sirve para controlar la velocidad del motor de inducción que funciona como el primo motor del generador síncrono, lo que hace este, es controlar la frecuencia de operación del motor de modo que el operador puede subir o bajar la misma de modo que se puede utilizar el grupo - motor generador para lo que se planeaba hacer con él desde el principio, utilizarlo para realizar pruebas de investigación a diversos equipos de baja capacidad como a una baja frecuencia o una mayor para transformadores y motores. Ver ilustración 73.

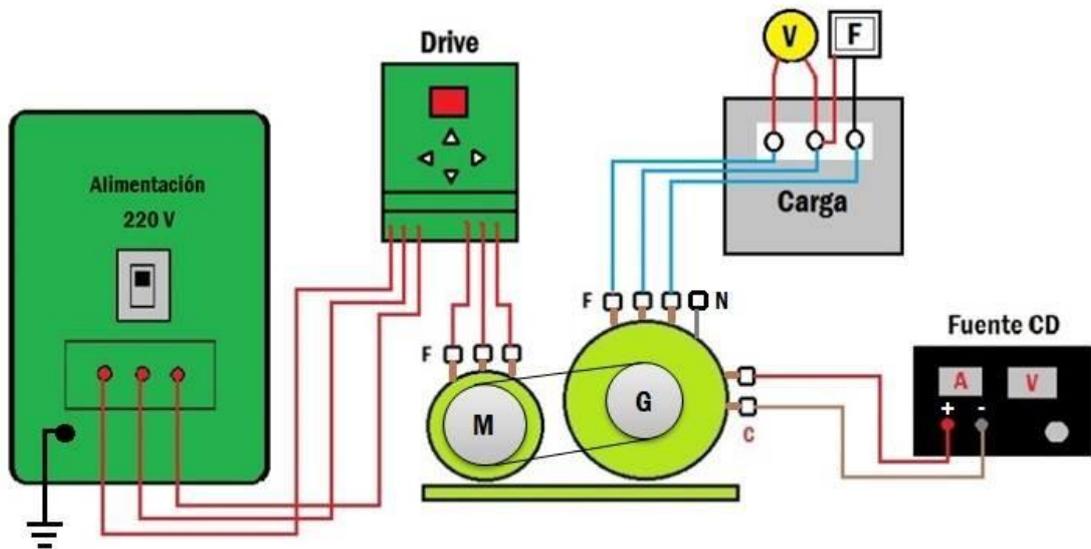


Ilustración 73. Diagrama de conexiones con el control de velocidad "drive", para el ajuste de la frecuencia de salida del generador síncrono con carga.

Por medio del drive [GROUP, 2012] se logró corregir la frecuencia de salida del generador síncrono, modificando la frecuencia del motor de CA, la velocidad disminuyó y por ende hay una disminución en las revoluciones del generador entregando la frecuencia de salida deseada de 60Hertz como se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados obtenidos por medio de la conexión del drive en el grupo - motor generador síncrono.

CON CARGA						
Tensión de arranque nominal (CA)	Tensión remanente generada (CA)	Tensión de campo (CD)	KW obtenidos	Corriente (A)	RPM	Frecuencia (Hz)
220V	190V	5V	2.255	4.5	1800	60

Como se puede observar en la ilustración 74, se conecta el controlador de velocidad "drive" a el motor de CA, para poder controlar la su velocidad mediante su frecuencia, de esta manera se corrigió la frecuencia que genero el grupo motor - generador, siendo esta una frecuencia de

67 Hz y de igual modo se corrige la tensión de salida del generador, siendo esta una tensión mayor a los 220 V. por medio de este “drive” se obtuvo una frecuencia de 60 Hz y una tensión de 220 V.



Ilustración 74. “Drive” utilizado para el control de velocidad en el primo motor del generador síncrono.

La finalidad de conectar una carga al circuito es solo para corroborar que el grupo motor - generador proporciona la tensión y frecuencia normalizadas con una carga eléctrica instalada, siendo satisfactorio el resultado ya que este generó sin problemas, llevando la tensión de la carga a 220V y con una frecuencia de 60Hz.

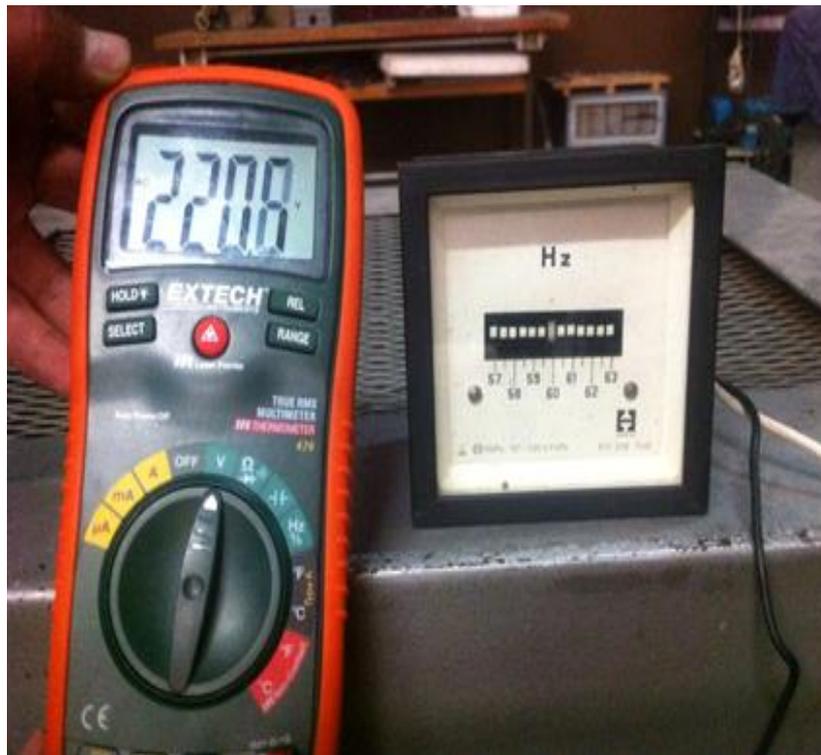


Ilustración 75. Valores obtenidos de tensión y frecuencia entre fases, conectado a una carga resistiva.

La ilustración 76 muestra cómo se varió la frecuencia de tensión de alimentación del motor por medio del “drive” de 20 HP, y de esta manera se obtuvieron los valores deseados para el generador síncrono.



Ilustración 76. Control de la frecuencia por medio del "drive" [Manual. BALDOR DRIVERS VS1MD, 2014].

La ilustración 77 muestra los kW, kVAR y kVA totales que se obtuvieron mediante un analizador de potencia y de calidad de energía eléctrica, al conectar una carga al generador.



Ilustración 77. KW obtenidos del generador, por medio de un analizador de calidad eléctrica.

La ilustración 78 muestra la corriente consumida por el motor de CA al estar en operación, el valor obtenido se muestra en la pantalla de un amperímetro de gancho como se puede observar.



Ilustración 78. Corriente que consume el motor con carga. Se obtuvo el valor por medio de un amperímetro de gancho [Manual. MIC 2060 CA. 2014].

Es importante hacer mención sobre el arranque del grupo motor - generador ya que con esto se comprueba que las pruebas eléctricas de mantenimiento realizadas, son concretas (ya que este equipo estuvo mucho tiempo sin operar). Satisfactoriamente se logró ponerlo en operación nuevamente, se observó que está en condiciones para su operación. Esto da paso para realizar un mantenimiento periódico para que este equipo conserve estas buenas condiciones, y siempre esté disponible para futuros proyectos .

4.4 Resultados de las pruebas de entrega

Después de finalizar el mantenimiento preventivo al grupo motor - generador, se realizaron las pruebas de “resistencia óhmica”, “prueba del aislamiento y la “prueba de impulso” (pruebas de entrega) para poder ver el comportamiento del grupo motor - generador después de haber recibido el mantenimiento preventivo. Y con los resultados que arrojaron estas pruebas se comprueba que efectivamente hubo un cambio en los valores obtenidos. Ya que el objetivo de aplicar un mantenimiento preventivo a una máquina eléctrica, es que siga en óptimas condiciones.

Prueba de resistencia óhmica

En esta prueba se demostró que el mantenimiento realizado al motor de inducción y al generador síncrono tuvo una mejoría significativa que se muestra en las tablas 13 ,14 y 15 así como en las ilustraciones 79 y 80.

Tabla 13. Valores obtenidos de las resistencias óhmicas entre las fases del motor con el puente universal.

Margen de Error	Fases	Sin S.T	Con S.T	Temperatura Ambiente
.0003	2 y 3	.4810	.4758	20°
.0005	3 y 1	.4813	.4759	20°
.0002	2 y 1	.4630	.4537	20°



Ilustración 79. Prueba de resistencia óhmica al motor de inducción (prueba de entrega).

Tabla 14. Obtenidos de las resistencias óhmicas de los devanados del generador, entre fases y neutro.

ERROR	SIN S.T	CON S.T	TEMPERATURA AMBIENTE
.0003	.2685	.2656	20°
.0002	.2745	.2715	20°
.0002	.2645	.2620	20°



Ilustración 80. Prueba de resistencia óhmica al generador síncrono (prueba de entrega).

Tabla 15. Valor obtenido de la resistencia óhmica del campo del generador.

ERROR	SIN S.T	CON S.T	TEMPERATURA AMBIENTE
0	44.03	43.58	20°

En esta prueba se muestra la continuidad en los devanados y la relación de la simetría que hay en ellos ya que los valores obtenidos son casi idénticos para cada una de las fases con las que se compararon, además de que se muestra un ligero incremento en la resistencia óhmica de los devanados debido a la eliminación de las partículas de polvo y humedad que se encontraban en los conductores, esto ayuda a tener un buen soporte de los conductores al calentamiento que pueda presentarse durante la operación del motor de inducción.

Prueba de impulso

En la tabla 16 se puede observar los valores obtenidos que se obtuvieron al realizar la prueba, aplicando una tensión de 600 de impulso, y como se puede observar los resultados son positivos, ya que las ondas obtenidas por medio del generador de impulsos son similares, lo que indica que no hay contacto entre espiras, que no estén fracturadas, o que no haya una falla en los devanados.

1. Motor de inducción - Prueba a 600 Volts.

Tabla 16. Valores obtenidos de la prueba de impulso para el motor de CA.

Selección de fases en prueba	Falla en devanados	Buen estado en devanados
A - B		X
B - C		X
A - C		X

En la tabla 17 se pueden observar los resultados obtenidos tras realizar la prueba de ondas de choque al generador síncrono, aplicando una tensión de 600V y como se puede observar, hay un desbalance en la fase “B” del generador síncrono. Esto puede ser ocasionada porque el diseño de la fase “B” no es simétrico al de la fase “A” y fase “C”; esto debido a que podría tener un mayor o menor número de espiras en el devanado de la fase “B”. Ya que el grupo motor - generador estuvo en operación en la industria antes de ser donado a los laboratorios de investigación de la SEPI y debido a que este fue entregado sin un registro de mantenimiento en general, no se sabe si en el rotor del generador hubo alguna mala reparación o rebobinado en los devanados de las fases, específicamente en la fase “B” que ocasiona la falla que se muestra en los resultados.

En el mantenimiento realizado en este trabajo se procedió a las pruebas y procedimientos adecuados para corregir este problema sin lograr obtener un cambio positivo en los valores. Se concluye que el devanado de la fase “B” presenta un desbalance respecto a la fase “A” y fase “C”.

Cabe señalar que este resultado no es perjudicial, ya que no afecta el correcto funcionamiento del grupo motor - generador, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Valores obtenidos de la prueba de impulso para el generador síncrono.

Selección de fases en prueba	Falla en devanados	Buen estado en devanados
A - B	X	
B - C	X	
A - C		X

Los devanados de las fases del generador se encuentran en forma asimétrica, las formas de onda obtenidas son las mismas que se obtuvieron en las pruebas de entrega, esto demuestra que hubo un error de diseño en el devanado de la fase “B” del generador síncrono.

Resistencia de aislamiento e índice de polarización

En esta prueba se puede observar como los resultados obtenidos fueron mejores, en comparación de la prueba de resistencia de aislamiento antes realizada (prueba de recepción), la cual indica que el grupo motor - generador, se mantiene en un buen estado después de haber realizado el mantenimiento preventivo.

La tabla 18 muestra los valores obtenidos al realizar esta prueba de resistencia del aislamiento al motor de CA, como se puede observar los resultados obtenidos son positivos, y en comparación de los resultados que se obtuvieron anteriormente en la pruebas de recepción, son mejores, lo que indica que el aislamiento del motor está en buenas condiciones después de haberle realizado el mantenimiento preventivo.

Tabla 18. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el motor de inducción.

MOTOR DE INDUCCION			
Fase con carcasa		Fase con carcasa a tierra	
Tiempo	GΩ	Tiempo	GΩ
30 segundos	70.8	30 segundos	129.2
1 min	104	1 min	177.6
2 min	144	2 min	223
3 min	175.6	3 min	247.8
4 min	195	4 min	261.8
5 min	209.3	5 min	275.5
6 min	222.4	6 min	284.5
7 min	235.1	7 min	293.5
8 min	241.5	8 min	294.7
9 min	254.3	9 min	307
10 min	262.9	10 min	315.9

En la tabla 19 se puede observar los resultados que se obtuvieron al realizar esta prueba, y como en el caso del motor de CA, los resultados indican un buen aislamiento del generador.

Tabla 19. Resultados obtenidos de resistencia de aislamiento para el generador síncrono.

GENERADOR SINCRONO			
Fase con carcasa		Fase con carcasa a tierra	
Tiempo	GΩ	Tiempo	GΩ
30 segundos	29.9	30 segundos	29.5
1 min	42.9	1 min	41.7
2 min	57.5	2 min	57.3
3 min	65.4	3 min	67.9
4 min	79.8	4 min	76.1
5 min	88	5 min	83
6 min	96.6	6 min	88.8
7 min	99.5	7 min	93.1
8 min	106.7	8 min	98.2
9 min	108.2	9 min	105.1
10 min	115.8	10 min	105.9

CAMPO DEL GENERADOR	
Tiempo	Campo a tierra GΩ
30 segundos	112
1 min	157.6
2 min	214.9
3 min	248.6
4 min	272.1
5 min	287.7
6 min	304.2
7 min	314.8
8 min	327.3
9 min	334.6
10 min	340.9

En las tablas 20 y 21, se puede observar claramente que los resultados obtenidos son mejores que los resultados de las pruebas de recepción, ya que se encuentran en un mejor rango del estándar de la norma IEEE STD 43 [Board, 2008]. Con lo que se comprueba que al realizar el mantenimiento preventivo, se garantiza que el estado del grupo motor - generador en óptimas condiciones para su puesta en operación.

Tabla 20. Resultados obtenidos del índice de polarización del motor de inducción y generador síncrono.

Valores obtenidos de índice de polarización con megohmetro digital			
Motor de inducción		Generador síncrono	
Fase a carcasa	Fase con carcasa a tierra	Fase a carcasa	Fase con carcasa a tierra
2.56	2.1	2.90	2.54
> 2 a < 4	> 2 a < 4	> 2 a < 4	< 2

Tabla 21. Resultados obtenidos del índice de polarización del campo del generador síncrono.

Índice de polarización del campo	
Campo a carcasa	Campo carcasa a tierra
2.23	2.17
> 2 a < 4	> 2 a < 4

Resultados obtenidos de la prueba de resistencia de aislamiento con megger digital y pc después del mantenimiento.

La ilustración 81 muestra la gráfica con los resultados obtenidos de la resistencia de aislamiento en el generador síncrono, después de haberle realizado el mantenimiento correspondiente, obteniendo una mejora en el índice de polarización lo que indica que el mantenimiento realizado fue el correcto, ya que con esto el generador tendrá un mejor desempeño para diversas pruebas futuras.

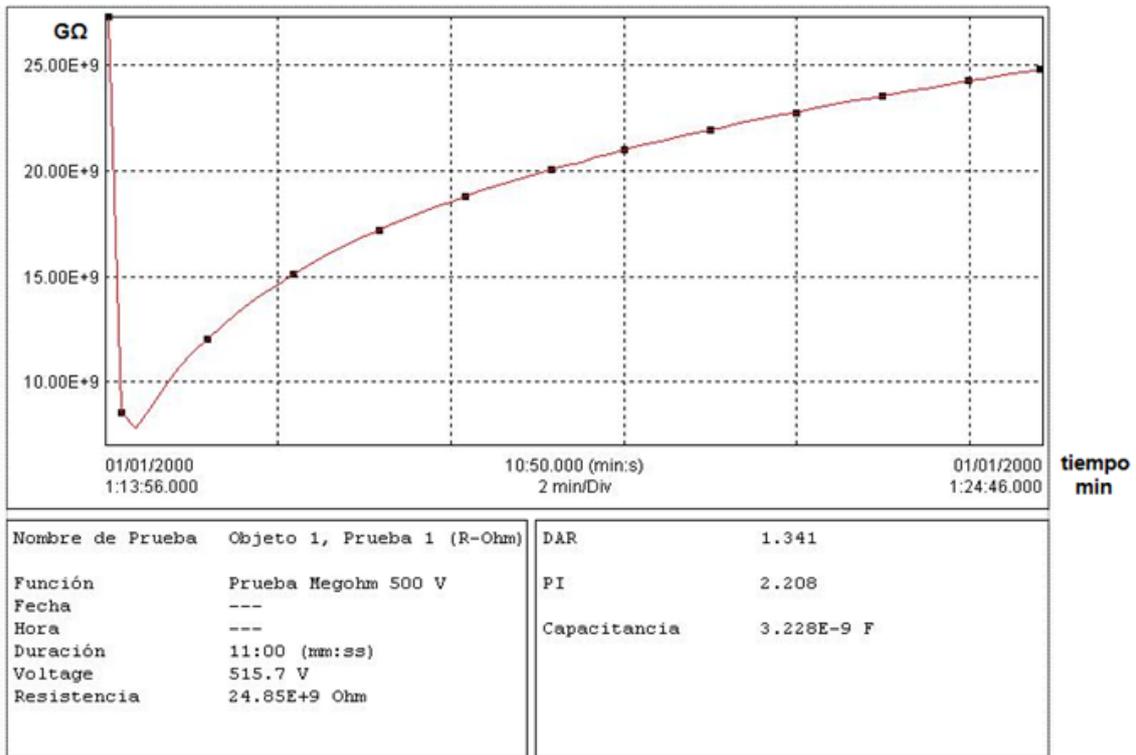


Ilustración 81. Curva de la resistencia de aislamiento.

Como se puede observar en la ilustración 81, se muestra el índice de polarización de 2.208 este resultado indica una mejora en los devanados del generador debido al mantenimiento al que fue sometido, este resultado está por encima del obtenido en la gráfica de la prueba de recepción al generador que fue de 1.979, lo que indica que con el mantenimiento adecuado se pueden mejorar las condiciones de operación de este grupo motor - generador.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El realizar pruebas de mantenimiento básico y mantenimiento preventivo periódicamente, se garantizan las óptimas condiciones de una máquina eléctrica y como es que se encuentran su sistema eléctrico, aislante, magnético y mecánico al paso de los años, ya que solamente así, se observa y verifica la condición de una máquina eléctrica rotatoria.

La documentación del comportamiento de una máquina eléctrica, genera estadísticas utilizadas para tener un mejor control del estado de la máquina (de esta manera se pueden prevenir fallas antes de que sucedan) y para saber que efectivo es realizar un mantenimiento preventivo a dicha máquina. Ya que al realizar un mantenimiento se pretende que la máquina siga en óptimas condiciones de operar, pero solamente se comprueba con las estadísticas del estado de la máquina eléctrica.

Al realizar las pruebas de mantenimiento básicas al grupo motor CA - generador síncrono de 15kW, se documentaron los resultados de las pruebas realizadas, obteniendo valores positivos dentro del rango que las normas IEEE y manuales establecen en sus estándares. Por lo que se procedió a dar un diagnóstico a este grupo motor CA - generador síncrono de 15kW, el cual fue favorable para su puesta en operación.

El diagnóstico indico que se procediera a aplicar un mantenimiento preventivo al grupo motor - generador, ya que solamente presento suciedad en partes internas y externas, por todos los años que no opero y no recibió mantenimiento periódicamente. Por lo que se procedió a dar un mantenimiento preventivo al motor de 20HP y al generador de 15kW.

Al termino del mantenimiento preventivo, se garantiza que el grupo motor - generador seguirá en óptimas condiciones, y se podrá llevar a cabo su puesta en operación sin problema alguno. Para garantizar que siga en óptimas condiciones, se volvieron a realizar las pruebas de mantenimiento básicas (pruebas de entrega), las cuales dieron resultados aún mejores que las primeras pruebas que se llevaron a cabo (pruebas de recepción). Y también se generaron estadísticas del comportamiento del grupo motor - generador, las cuales se podrán comparar con futuras estadísticas (de pruebas de mantenimiento básicas que se le realizarán en futuros mantenimientos a este grupo motor - generador), para saber si el estado de cada máquina se deteriora o se mantiene estable.

Por lo que se cumplieron todos los objetivos planteados al inicio de este trabajo, ya que se realizaron pruebas de mantenimiento básicas, se generó un diagnóstico, se realizó un mantenimiento preventivo y la puesta en operación del grupo motor CA - generador síncrono de 15kW satisfactoriamente.

5.2 Recomendaciones

Con el objetivo de utilizar esta máquina eléctrica en pruebas de laboratorio de ESIME ZACATENCO en los laboratorios de pesados II y que siga en óptimas condiciones de operación, durante los años que le quede de vida útil a esta máquina se recomienda lo siguiente:

- Realizar mantenimiento periódico a este grupo motor - generador, para que perdure su vida útil.
- Utilizar esta máquina eléctrica en pruebas de laboratorio, donde se necesite una frecuencia y tensión específicas, ya que se puede manipular la frecuencia del motor mediante el controlador de velocidad (“drive”) que se instaló para la puesta en operación de esta máquina, algunas pruebas por mencionar son “prueba de rotor bloqueado” y “prueba de voltaje inducido a un transformador”.
- Instalar algún medio de protección alrededor de la banda de acoplamiento, para no sufrir algún accidente cuando esté en marcha el grupo motor - generador.
- Cambiar el acoplamiento mecánico del grupo motor- generador para mejora su desempeño

Referencias

- AEMC. (2014). Manual de operación AEMC - 1060.
- Board, I.-S. S. (mayo de 2008). standard 43-2000.
- Chapman, S. (2008). *Stephen Chapman* . Mc Graw Hill .
- El motor asíncrono*. (3 de mayo de 2014). Recuperado el 12 de Diciembre de 2013, de <http://endrino.pntic.mec.es/jhem0027/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>
- electricos, M. (s.f.). Obtenido de <https://sites.google.com/site/279motoreselectricos/partes-fundamentales-de-un-motor-electrico/2-1-estator>
- extremadurasi*. (23 de octubre de 2013). Recuperado el 11 de Diciembre de 2013, de http://centros5.pntic.mec.es/ies.de.rivas.vaciamadrid/tecnologia/electrotecnia/www.extremadurasi.org/contenidos_docentes/electro/t8.htm
- GROUP, B. A. (mayo de 2012). Installation & Operating Manual. USA: Company, Baldor Electric.
- Grupo electrógeno*. (08 de octubre de 2014). Obtenido de http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/TecEduc/Intro_grupos_electrogenos/generador_de_ca_parte_1.html
- IEEE 112 -2004. (1 de febrero de 2014).
- IEEE 115 - 2009. (12 de febrero de 2014). Distrito federal, mexico.
- IEEE. (18 de junio de 1992). IEEE Standard 522-1992. *Insulation on form - Wound stator coils for alternating - Current rotation electric machines*. ANSI.
- KATOMEX. (1 de mayo de 2014). *POTENCIA INDUSTRIAL*. Obtenido de Empremexico: http://www.empremexico.com/katomex_693919.php
- M.F. Cabanas, M. M. (1998). *Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas*. Barcelona: MARCOMBO.
- Manual. BALDOR DRIVERS VS1MD. (11 de FEBRERO de 2014). Distrito fedreal, México.
- Manual. DIGITAL MICRO - OHMMETER 4300B. (10 de febrero de 2014). Distrito federal, méxico.
- Manual. MEGOHMMETER 1050. (08 de enero de 2014). Distrito federal, México: AEMC INSTRUMENTS.
- Manual. MIC 2060 CA. (08 de enero de 2014). Distrito federal, méxico.
- Manual. SURGER PREMIERE. (10 de febrero de 2014). Distrito federal, México: multi - amp.

- Máquinas síncronas*. (22 de octubre de 2013). Recuperado el 09 de Enero de 2014, de <http://endrino.pntic.mec.es/jhem0027/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>
- monografias*. (15 de diciembre de 2013). Recuperado el 24 de Octubre de 2013, de <http://www.monografias.com/trabajos89/tipos-generadores-sincronos/tipos-generadores-sincronos.shtml>
- Motor asíncrono monofásico*. (4 de mayo de 2014). Obtenido de http://motoresmonofasicos1.blogspot.mx/2010_10_01_archive.html
- motorasincrono*. (14 de noviembre de 2013). Recuperado el 18 de Enero de 2014, de (<http://endrino.pntic.mec.es/jhem0027/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>).
- noruega. (12 de JUNIO de 2000). *YOUTUBE*. Recuperado el 12 de Octubre de 2013, de *YOUTUBE: HTTP://WWW.YOUTUBE.COM*
- Recuperado el 20 de Noviembre de 2013, de <http://html.rincondelvago.com/analisis-y-compresion-de-corriente-continua-y-alterna.html>
- RELIANCE. (1 de mayo de 2014). *BALDOR A MEMBER OF THE ABB GROUP*. Obtenido de <http://www.reliance.com/>
- slide*. (17 de noviembre de 2013). Recuperado el 20 de Noviembre de 2013, de http://www.slidesh9.are.net/Paul_Gomez/generadores-sincronos-7930578
- Tecnología eléctrica*. (12 de marzo de 2014). Obtenido de <http://tecnologiaelectricaconmarino.blogspot.mx/>
- Universidad de Antioquia*. (s.f.). Obtenido de <http://docencia.udea.edu.co/regionalizacion/irs-404/contenido/capitulo10.html>
- Wikipedia*. (4 de mayo de 2014). Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/Jaula_de_ardilla#mediaviewer/Archivo:Jaula_de_ardillas_%28rotor%29_de_un_motor_el%C3%A9ctrico.JPG
- youtube*. (19 de diciembre de 2013). Recuperado el 23 de Octubre de 2013, de <https://www.youtube.com/watch?v=kXV6FhoHucl>

Anexo

En esta sección se hace el planteamiento para realizar mejoras posteriores en el grupo motor generador síncrono. Haciendo una revisión de este equipo se propone tener medidas de seguridad para la operación del mismo, ya que se determinó que es de alto riesgo operar este equipo sin una protección adecuada en el sistema de poleas y banda ya que fácilmente pueden ocurrir accidentes letales si es que algún operario llegara a entrar en contacto con las poleas estando estas en operación, debido a que las poleas giran a grandes velocidades es probable que la indumentaria pueda quedar atrapada por este sistema o que la banda utilizada para acoplar las poleas tenga un punto de desgaste y estalle contra los operarios ocasionando lesiones graves o fatales.

Por todo esto se propone una protección de aluminio que sirva como tapadera a las poleas y banda del generador síncrono y del motor de inducción, como se puede observar en la ilustración 82.

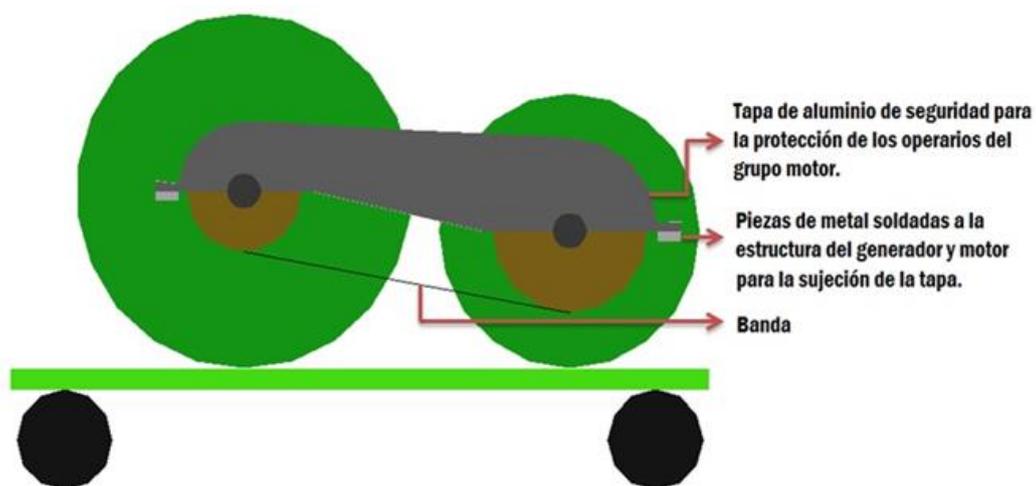


Ilustración 82. Sistema de protección de poleas y banda.

Lo que se propone en la ilustración 82 es lo siguiente:

1. Hacer una tapa de aluminio de forma que cubra el sistema de poleas del generador síncrono y el motor de inducción.
2. Soldar dos piezas de metal una a la estructura del generador síncrono (carcasa) y otra a la estructura del motor de inducción (carcasa).
3. Atornillar la tapadera a las piezas soldadas en el generador síncrono y en el motor de inducción.

De esta forma se pretende que este equipo deje de ser peligroso para los operarios ya que es la manera más adecuada para proteger la integridad y la seguridad de las personas, como se puede observar en las ilustraciones 83 y 84.

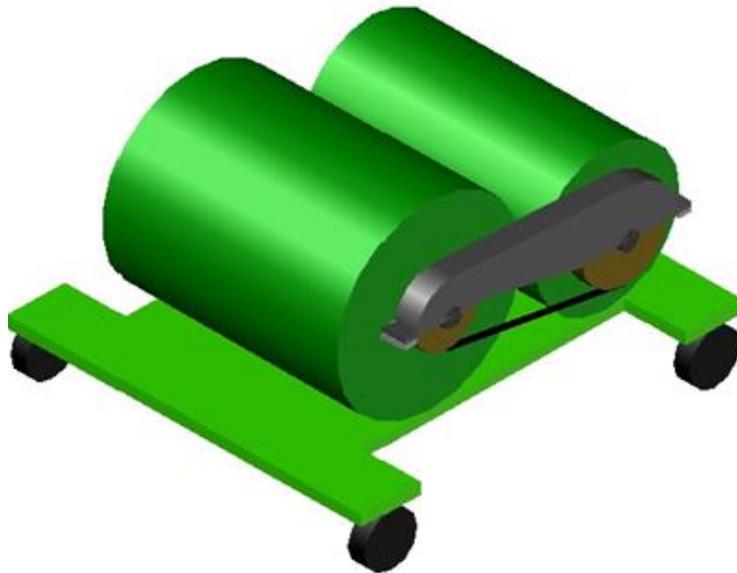


Ilustración 83. Sistema propuesto para la protección de poleas y banda (A).

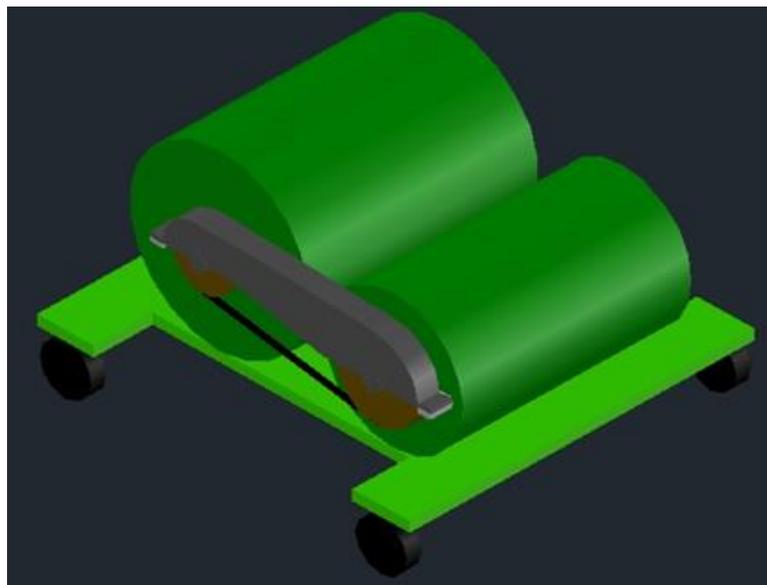


Ilustración 84. Sistema propuesto para la protección de poleas y banda (B).

Glosario

Motor.

Un motor es la parte *sistemática* de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo [REF 1].

Generador.

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos (llamados polos, terminales o bornes) transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator). Si se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz (F.E.M.). Este sistema está basado en la ley de Faraday.

Motor síncrono.

Los motores síncronos son un tipo de motor de corriente alterna. Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red eléctrica a la que está conectado y por el número de pares de polos del motor, siendo conocida esa velocidad como "velocidad de sincronismo".

Frecuencia.

Frecuencia es la medida del número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo.

La frecuencia en los fenómenos ondulatorios, tales como el sonido, las ondas electromagnéticas (como las de la radio o la luz), señales eléctricas u otras ondas, expresa el número de ciclos que se repite la onda por segundo.

En unidades del Sistema Internacional (SI), el resultado se mide en Hertz (Hz), llamados así por el físico alemán, Heinrich Rudolf Hertz. Un Hertz significa un ciclo (u onda) por segundo.

Transitorio.

Los transitorios son incrementos de tensión y/o corriente con magnitudes de hasta miles de volts y amperes que se transmiten a través de los elementos de un sistema eléctrico en alta, media y baja tensión.

Auto transformador.

En efecto, puede ser concebido como un transformador con un solo bobinado con sus dos bornes accesibles y con un tercer borne accesible que conecta a una toma intermedia del bobinado y el cuarto borne común a alguno de los dos primeros o, lo que sería equivalente, dos bobinados conectados de tal manera que tienen dos de sus cuatro bornes accesibles conectados en común.

La principal ventaja de este tipo de transformadores radica en que se puede disminuir el tamaño y los materiales utilizados respecto al transformador clásico para igual potencia nominal implicando una disminución sustancial en los costos del equipo, aunque con algunas desventajas que deben ser tenidas en cuenta al momento de seleccionar la aplicación de esta máquina.

Imagen Especular.

Una imagen especular es la imagen mediante la reflexión de la luz en una superficie especular, donde los rayos incidentes se reflejan con un ángulo igual al de incidencia (ambos tomados con respecto a la perpendicular al plano en ese punto).

NEMA.

La “*Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos*” es una asociación industrial estadounidense, creada el 1 de septiembre de 1926 tras la fusión de “*Fabricantes de Suministros Eléctricos Asociados*” y el “*Club de Potencia Eléctrica*”. Este organismo es el responsable de numerosos estándares industriales comunes usados en el campo de la electricidad. Entre otros, la NEMA ha establecido una amplia gama de estándares para encapsulados de equipamientos eléctricos, publicados como *NEMA Standards*.

Pruebas no destructivas.

Se denomina ensayo no destructivo, a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los ensayos no destructivos implican un daño imperceptible o nulo. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

Polarización eléctrica.

Un material dieléctrico (aislante) puede verse como un conjunto de muchas cargas eléctricas dipolares (de un lado positiva y del otro lado negativa). Si no existe estímulo externo, estas cargas están "desordenadas"; es decir, apuntan en diferentes direcciones y la carga neta total es igual a cero.

Cuando se aplica un campo eléctrico externo, (por ejemplo acercando el material a un objeto fuertemente cargado eléctricamente), la carga eléctrica en el material se “polariza”, es decir se "ordenan" alineándose en la dirección del campo. Eso produce que la carga total del material sea distinta de cero, lo que le da la propiedad de atraer o repeler otros objetos.

Dieléctrico.

Se denomina dieléctrico al material mal conductor de electricidad, por lo que puede ser utilizado como aislante eléctrico, y además si es sometido a un campo eléctrico externo, puede establecerse en él un campo eléctrico interno, a diferencia de los materiales aislantes con los que suelen confundirse. Todos los materiales dieléctricos son aislantes pero no todos los materiales aislantes son dieléctricos.

Polución.

Contaminación intensa y dañina del agua, del aire o del medio ambiente, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos.

Adimensional.

Una magnitud adimensional carece de unidades de magnitudes físicas.

Par motor.

El par motor o torque es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia. La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión.

Ley de Faraday.

Esta ley señala que la magnitud de la fuerza electromotriz (f.e.m) inducida en un circuito es igual a la razón de cambio en el tiempo del flujo magnético a través del circuito.

Devanado.

Es el conjunto de espiras destinado a producir el flujo magnético, al ser recorrido por la corriente eléctrica

Estator.

Constituye la parte fija del motor. El estator es el elemento que opera como base, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero sí magnéticamente. Existen dos tipos de estatores:

- a) Estator de polos salientes.
- b) Estator ranurado.

Rotor.

Constituye la parte móvil del motor. El rotor es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos:

- a) Rotor ranurado.
- b) Rotor de polos salientes.
- c) Rotor de jaula de ardilla.

Carcasa.

La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación.

Placa de características.

Cada motor debe contar con una placa de características, en idioma español, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches del mismo material que las placas. Deben ser de acero inoxidable, la pintura del motor no debe cubrirlas, la información debe ser grabada en el metal de las placas de tal manera que pueda ser leída aunque desaparezcan la coloración e impresiones de superficie.

La siguiente información o datos son los mínimos que debe llevar la placa de datos y placas auxiliares, de cualquier motor de corriente alterna monofásico o trifásico, en forma indeleble y en lugar visible.