

Diagnóstico, Mantenimiento Correctivo, Puesta en Operación y Pruebas de Funcionamiento del Equipo Ward Leonard del Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

Diego Rodríguez y Jesús Játiva, IEEE Member

Resumen—El presente trabajo nace de la necesidad de reincorporar al Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la EPN, el suministro de energía eléctrica con señales de voltaje y frecuencia variables. Toda acción de inspección, mantenimiento y control se detalla claramente y ha sido ejecutada con todas las medidas de seguridad pertinentes.

El conjunto Ward Leonard utiliza un motor trifásico como fuente primaria de un generador DC, sobre el cual es posible controlar el voltaje terminal suministrado a un motor DC, a su vez el motor DC es la fuente primaria del generador sincrónico, cuyo circuito de excitación permite controlar la amplitud de voltaje de la onda trifásica.

El equipamiento está en la capacidad de suministrar voltaje entre fases desde 0 V a 0 Hz, pasando por 190 V a 60 Hz y de máximo 300 V a 100 Hz, proporcionando una relación de control de $\Delta V = \pm 70V$ y $\Delta f = \pm 10$ Hz en todo punto de operación.

Estas señales pueden ser independientemente ajustadas para satisfacer cualquier necesidad en el desarrollo de prácticas estudiantiles y docentes, como también procesos de investigación científica enfocados a analizar respuestas de aparatos y equipos en condiciones variables del suministro eléctrico.

Palabras Claves—Conjunto Ward Leonard, Mantenimiento Industrial, Control de Velocidad de Motor DC, Control de Voltaje y Frecuencia

I. INTRODUCCIÓN

EL Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica actualmente posee un amplio conjunto de máquinas destinadas tanto a pruebas de investigación, como también al desarrollo de prácticas docentes de profundización del conocimiento a lo largo de la instrucción en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Se dispone de un tablero de control principal, marca Siemens, compuesto de varios módulos con la finalidad de suministrar energía eléctrica a los puestos de trabajo, ubicados en las diferentes mesas con las que cuenta el laboratorio.

Concretamente, el Panel 5, correspondiente al sistema variador de frecuencia Ward Leonard, es el objeto de estudio y desarrollo del presente trabajo, pues cuenta con el mayor equipamiento motriz, por desgracia el conjunto Ward Leonard se mantuvo fuera de operación por varias décadas, siendo un desaprovechamiento enorme del potencial del laboratorio.

La puesta en operación del equipo Ward Leonard se la ha realizado exhaustivamente desde inicios del presente año, con varias dificultades inherentes a tratar con equipamiento del cual no existe una base sólida de documentación que sirva como punto de partida, para lo cual se empleó gran parte del

tiempo en identificar cada uno de los componentes, verificar su estado, realizar mantenimiento correctivo con la finalidad de volverlos a integrar completamente al panel de operación.

Con el equipo Ward Leonard operando en conjunto con su sistema de control habilitado, es posible obtener en cualquier puesto de trabajo, energía eléctrica con magnitudes de voltaje y frecuencia variables, simultáneamente.

Este suministro variable podrá ser empleado en la ejecución de estudios de respuesta a variaciones de frecuencia y/o voltaje, de aparatos y equipos de carga no lineal, a fin de obtener sus correspondientes modelos para estudios eléctricos transitorios y de pequeña señal.

Además, será posible atender la demanda de estudios y trabajos técnicos requeridos por la industria nacional, tanto pública como privada.

En realidad, las aplicaciones de voltaje y frecuencia variables comprenden un amplio panorama de posibilidades: pruebas, estudios e investigaciones, que se pueden realizar en su totalidad dentro del Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

II. METODOLOGÍA

El conjunto Ward Leonard fue diseñado en 1891 por el ingeniero estadounidense Harry Ward Leonard, con la finalidad de entregar un método efectivo para controlar la velocidad de un motor DC.

Introducir en el circuito de armadura una resistencia externa en serie equivale a aplicar un voltaje menor sobre estos terminales, teniendo así control sobre la velocidad del motor DC. La ventaja de este método se produce al eliminar la excesiva pérdida de potencia inherente a variar la resistencia de armadura y en contra parte se requiere dos fuentes de energía para el funcionamiento completo.

Para este conjunto se utiliza entonces un motor trifásico de inducción, que sirve de impulsor primario para el generador DC, que a su vez suministra un voltaje constante a los devanados de campo del motor DC. Independientemente se tiene control sobre cada una de las corrientes de campo a través de los circuitos externos, permitiendo el control completo de la velocidad de dicho motor.

Hasta este punto se ha logrado controlar la velocidad de un eje, si a este eje se aplica un generador sincrónico se está hablando de entrar directamente a ejercer control sobre la frecuencia de su voltaje generado, y así obtener el mayor beneficio del conjunto Ward Leonard, proporcionar energía eléctrica con parámetros ajustables de frecuencia y voltaje.

El Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional fue implementado alrededor del año 1960, gracias al convenio

tripartito entre la EPN, la compañía alemana Siemens – Schuckertwerke AG y la UNESCO.

Durante varios años, los equipos funcionaron con normalidad siendo un eje transversal para el desarrollo de la Carrera de Ingeniería Eléctrica. Para años posteriores las condiciones se habían deteriorado de manera tal que el tablero Siemens original operaba únicamente con dos máquinas rotativas de las seis originalmente instaladas. Concretamente los estudiantes se vieron obligados a obtener del cuarto de máquinas únicamente una fuente DC variable para realizar estudios sobre motores y generadores de menor capacidad ubicadas en las diferentes mesas del laboratorio.

El cuarto de máquinas ha estado en total abandono y ha sido usado como bodega de materiales propios del laboratorio, por lo cual en primera instancia se realizó una limpieza general y un etiquetado, para identificar los componentes del equipamiento Ward Leonard, su estado actual y sus respectivas medidas correctivas.

Por las condiciones ambientales del cuarto de máquinas como son: temperatura, humedad, iluminación, ventilación, entre otras, todas las máquinas se encontraban en un estado físico aceptable a pesar de no haber sido intervenidas.

Esto representa una enorme ventaja inherente al diseño de las máquinas eléctricas y obviamente al no estar sometidas a regímenes de trabajo pesado; sus componentes están aún dentro de su vida útil.

III. DIAGNÓSTICO ACTUAL DEL GRUPO WARD LEONARD

El mantenimiento se lo puede definir como la acción de control constante sobre las instalaciones y equipamiento, acompañada de un conjunto de trabajos de reparación y revisiones periódicas, necesarias para garantizar el funcionamiento óptimo y su conservación.

Todas estas tareas de mantenimiento planificadas a realizarse sobre el conjunto Ward Leonard tienen varios objetivos propios:

- ✓ Evitar, reducir y dado el caso, reparar, daños sobre el conjunto.
- ✓ Disminuir la significancia de fallas que no sean evitables.
- ✓ Evitar detenciones fortuitas o paro generalizado de maquinaria.
- ✓ Evitar accidentes.
- ✓ Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.
- ✓ Conservar los sistemas de fuerza y control en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- ✓ Prolongar la vida útil del conjunto Ward Leonard
- ✓ Reducir costos

Para detectar problemas, diagnosticar fallas y realizar mediciones con voltaje en un panel trifásico o en el cuarto de máquinas se procederá con el siguiente protocolo:

1. El uso de EPP (equipo de protección personal) recomendado en esta situación es: casco, gafas transparentes, ropa de preferencia en tela jean, zapatos aislantes, guantes dieléctricos.
2. Antes de cada tarea, verificar que se cuente con todos los instrumentos de medición a utilizar y a su vez, que sean de la categoría de seguridad III en adelante (600 V).
3. Para la toma de mediciones se emplea el sistema de tres

puntos: medir en primera instancia un circuito cargado conocido, medir el circuito objetivo y luego volver a medir el circuito cargado. De esta manera, se garantiza que el instrumento de medición funcione correctamente en cada operación.

4. Durante el desarrollo de cualquier actividad de mantenimiento se debe detener a analizar cada situación para precautelar la salud y el equipo.

Una vez identificados los factores problemáticos del conjunto Ward Leonard, mediante la aplicación del protocolo descrito, se expone en forma resumida cada acción correctiva a ser implantada.

En primer lugar, se ha realizado una limpieza de todos los elementos del conjunto Ward Leonard (tablero de control y cuarto de máquinas), acompañados de un ajuste completo de terminales y borneras; con la finalidad de evitar daños por desconexiones inesperadas y también para eliminar errores al momento de mapear toda la circuitería, una muestra se expone en las Figuras 1 y 2.

Puesto en marcha el equipamiento Ward Leonard se obtuvieron resultados muy desfavorables, pues ni siquiera existe presencia de una onda de voltaje en los terminales del generador, por lo cual el estado completo del conjunto es Fuera de Operación.

Con el fin de volver a poner el Sistema Ward Leonard operativo al cien por ciento de su capacidad, se da inicio a la tarea de diagnosticar cada subsistema por separado: control y fuerza; se encuentra de esta manera los elementos que deben someterse a mantenimiento o ser reemplazados.

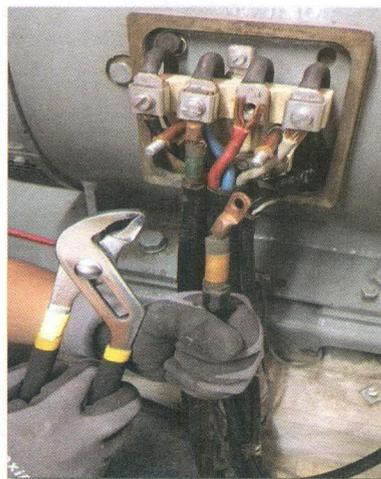


Figura 1. Labores de Limpieza y Ajuste en Casa de Máquinas

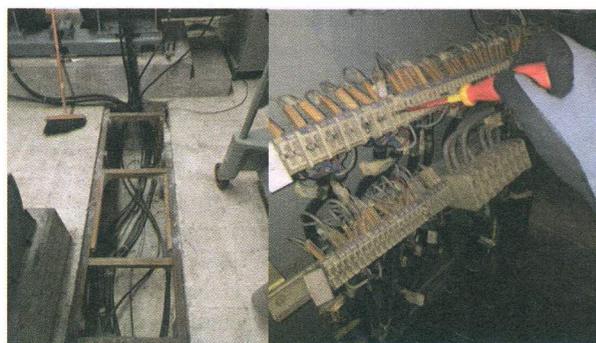


Figura 2. Labores de Limpieza y Ajuste en Canales y Tablero Principal

IV. PLAN DE ACCIÓN

La acción de mantenimiento correctivo para cada elemento y su código se detalla en la Tabla I.

TABLA I
PLAN DE ACCIÓN DE MANTENIMIENTO SOBRE EL EQUIPAMIENTO WARD
LEONARD

Cód.	Descripción	Acción de Mantenimiento Correctivo
5b3	Selector 2 Posiciones con Retorno	Desarme y Revisión Mecánica
5b4	Selector 2 Posiciones con Retorno	Desarme y Revisión Mecánica
5a2	Disyuntor Termomagnético	Reparación en Taller Especializado
5d2	Relé Biestable	Pruebas Eléctricas de Operación
5d6	Relé Biestable	Pruebas Eléctricas de Operación
5ga	Amplificador Biestable	Pruebas Eléctricas de Operación
5c10	Contactador Tripolar	Corrección en Circuito de Control
5c11	Contactador Tripolar	Corrección en Circuito de Control
5c12	Contactador Tripolar	Reemplazo Total
5c13	Contactador Tripolar	Reemplazo Total
5c7	Contactador Tripolar	Reemplazo Total
5c8	Contactador Tripolar	Reemplazo Total
5c9	Contactador Bipolar	Pruebas Eléctricas y Mecánicas
5c6	Contactador Bipolar	Pruebas Eléctricas y Mecánicas
5d1	Contactador Tripolar	Verificación de Control
5d3	Contactador Tripolar	Verificación de Control
5d5	Contactador Tripolar	Verificación de Control
5d4	Contactador Tripolar	Verificación de Control
5c6a	Contactador Tripolar	Verificación de Control
-	Breakers de Circuitos Control	Reemplazo Total
ME 001 - 2	Motor Trifásico de Inducción	Requiere Pruebas Individuales
ME 001 - 1	Generador DC	Requiere Pruebas Individuales
ME 001 - 3	Motor DC	Requiere Pruebas Individuales
ME 001 - 4	Generador Síncrono	Requiere Pruebas Individuales
5.3	Reóstato y Motor de Campo del Gen. Síncrono	Reóstato Fallo Mecánico Motor del Reóstato Requiere Mantenimiento
5.4	Reóstato y Motor de Campo del Gen. Síncrono	Reóstato Ok Motor del Reóstato Requiere Mantenimiento
5.5	Reóstato y Motor de Campo del Motor DC	Reóstato Fallo Mecánico Motor del Reóstato Requiere Mantenimiento
Vent 1	Ventilador de Motor DC	Requiere Pruebas Individuales
Vent 2	Ventilador de Generador Síncrono	Requiere Pruebas Individuales

V. RESULTADOS

Motor Trifásico de Inducción

El motor trifásico de inducción con rotor jaula de ardilla cuenta con un sistema de arranque estrella – triángulo. Una

vez energizado se obtienen los resultados de su funcionamiento que se indican en la Tabla II.

TABLA II
RESULTADOS MEDIDOS EN OPERACIÓN DEL MOTOR DE INDUCCIÓN

Voltaje de Alimentación	220 V
Velocidad	1755 rpm
Corriente Consumida	120 A

Generador DC

El generador DC de excitación separada está mecánicamente acoplado al eje del motor trifásico de inducción, que le proporciona una velocidad en su eje de 1755 rpm, su curva característica de operación se obtiene realizando mediciones de voltaje generado en función de la variación de corriente de campo con los reóstatos 5.1 y 5.2, y se muestra en la Figura 3.

Motor DC

A los terminales del generador DC se tiene conectado el motor DC; por lo cual el voltaje terminal suministrado determina la velocidad de giro primaria del motor, esto constituye la primera acción de control sobre la velocidad, Figura 4.

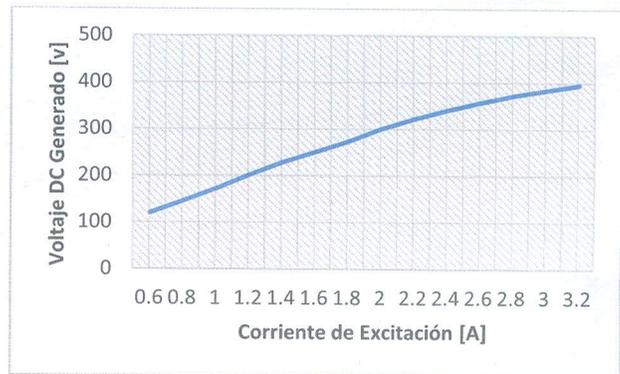


Figura 3. Curva Característica de Operación del Generador DC

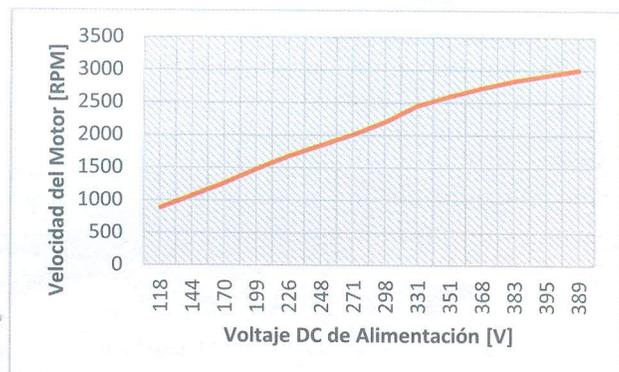


Figura 4. Curva de Respuesta de Velocidad del Motor DC por Voltaje de Alimentación

El motor DC en cuestión es de excitación separada, lo que permite tomar una nueva acción de regulación de velocidad sobre esta primera acción de control, permitiendo realizar un control más fino sobre su velocidad, a través de la resistencia de campo 5.5. Este efecto se ilustra en la Figura 5.

La segunda forma proviene del voltaje RMS en cualquier fase del generador síncrono es:

$$E_{rms} = \sqrt{6} \cdot \pi \cdot N \cdot \Phi \cdot f \quad (1)$$

Donde la frecuencia depende de la velocidad que tenga el motor DC; por lo tanto, una variación sobre la velocidad del motor DC, también provoca una variación en el voltaje terminal del generador sincrónico, según se muestra en la Figura 6.

Generador Sincrónico de Rotor Liso

El generador sincrónico de rotor liso regula su voltaje terminal de dos formas: la más evidente es a través de su corriente de campo que provoca una variación proporcional en el voltaje, Figura 7.

El generador sincrónico es el único encargado de transferir toda la potencia eléctrica a las mesas de trabajo en el laboratorio, los parámetros de potencia activa y reactiva son determinantes en el desempeño de la máquina. Su curva de capacidad se describe en la Figura 8.

Conjunto Ward Leonard

En esta sección se realiza un análisis matemático del conjunto Ward Leonard. El punto de partida es el motor trifásico de inducción, cuya función es la de una máquina motriz girando a 1755 rpm, con un deslizamiento del 2,5 por ciento, por ende, no existe ninguna variable a controlar en este punto del equipo.

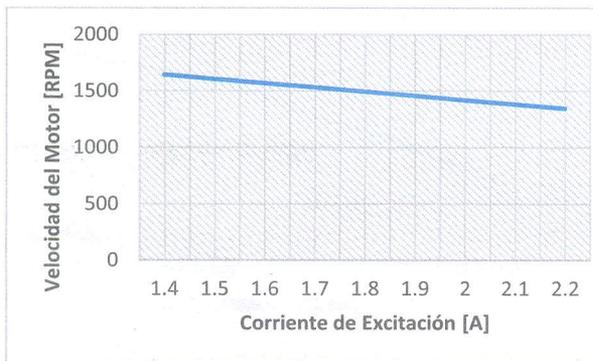


Figura 5. Respuesta de Velocidad del Motor DC frente a Variación de Corriente de Excitación

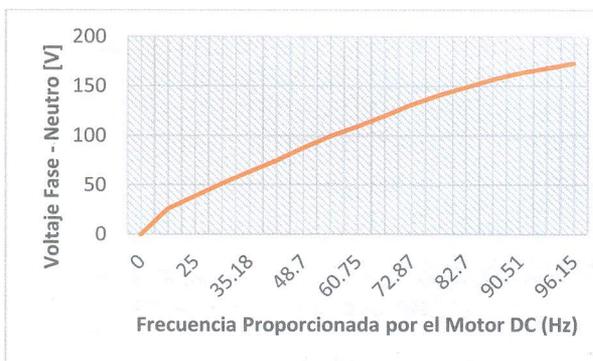


Figura 6. Curva de Voltaje Terminal en Función de la Frecuencia Proporcionada por el Motor DC

Acoplado mecánicamente al eje del motor de inducción se tiene al generador DC, sobre el que sí se puede controlar una variable: el voltaje DC terminal generado.

La respuesta a la variación de corriente en el circuito de excitación se puede deducir de la Tabla III.

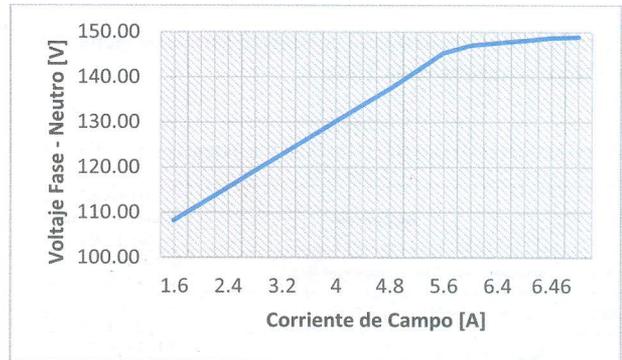


Figura 7. Curva de Voltaje Terminal por Variación de Corriente de Campo

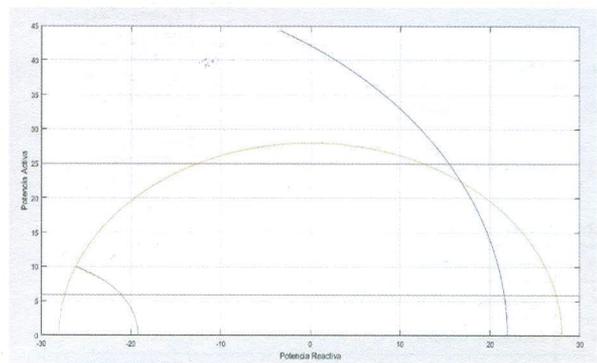


Figura 8. Curvas de Capacidad del Generador Sincrónico del Conjunto Ward Leonard

TABLA III
CONTROL DE VOLTAJE TERMINAL DEL GENERADOR DC CON CORRIENTE DE CAMPO

Acción	Reacción
Incremento del 6,67% en la I_f (5.1/5.2)	Incremento del 8,67% en V_{DCgen}
Decremento del 6,67% en la R_f (5.1/5.2)	Incremento del 8,67% en V_{DCgen}

Sobre el motor DC se tienen dos acciones de control sobre su velocidad, como se expuso anteriormente, por su circuito de excitación se tiene la Tabla IV.

TABLA IV
CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR DC POR CIRCUITO DE EXCITACIÓN EXPRESADO EN PORCENTAJE

Acción	Reacción
Incremento del 9% en la I_f (5.5)	Decremento del 2,3% en frecuencia (rpm)
Decremento del 9% en la R_f (5.5)	Decremento del 2,3% en frecuencia (rpm)

Adicionalmente, un aumento en el voltaje terminal de alimentación también supone un efecto sobre la velocidad de giro o frecuencia, como se detalla en la Tabla 5.

TABLA V
CONTROL DE VOLTAJE TERMINAL DEL GENERADOR DC POR VOLTAJE DC DE ALIMENTACIÓN

Acción	Reacción 1	Reacción 2
Incremento del 1,7% en $I_{f_{genDC}}$ (5.1/5.2)	Incremento del 2,25% en V_{DCgen}	Incremento del 5,71% en frecuencia (rpm)
Decremento del 1,7% en $R_{f_{genDC}}$ (5.1/5.2)	Incremento del 2,25% en V_{DCgen}	Incremento del 5,71% en frecuencia (rpm)

Como se puede observar:

- ✓ Un cambio del 9% en la resistencia 5.5 provoca una variación del 2,3% sobre la frecuencia.
- ✓ Un cambio del 1,7% en el conjunto de resistencias 5.1 y 5.2 provoca una variación del 5,71% sobre la frecuencia.

Con lo cual se demuestra que el grupo de resistencias 5.1 y 5.2 representan un elemento de variación conjunta y de gran escala en el conjunto Ward Leonard; mientras que la resistencia 5.5 realiza una variación fina de frecuencia.

El mismo caso se replica sobre el generador sincrónico con una ventaja adicional, esto es:

- ✓ Las resistencias 5.1 y 5.2 determinan en primera instancia la regulación gruesa de voltaje terminal.
- ✓ A este efecto se suma la contribución por variación de frecuencia del motor DC.
- ✓ Finalmente es el conjunto de resistencias 5.3 y 5.4 que realizan un ajuste fino del voltaje terminal suministrado a las mesas de trabajo.

Nota: Los conjuntos reguladores 5.1/5.2, 5.3/5.4 y 5.5, actúan simultáneamente sobre la variación de corriente en sus respectivos circuitos de excitación. Al ser de diferente valor en ohmios se clasifican en la Tabla 6.

TABLA VI
CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS CONJUNTOS REGULADORES

Reóstato	Función 1	Función 2
5.1	Regulación fina de corriente de excitación del Generador DC	Regulación Gruesa de Voltaje y Frecuencia del Conjunto Ward Leonard
5.2	Regulación amplia de corriente de excitación del Generador DC	
5.3	Regulación fina de corriente de campo del Generador Sincrónico	Regulación Fina de Voltaje Generado del Conjunto Ward Leonard
5.4	Regulación amplia de corriente de campo del Generador Sincrónico	
5.5	Regulación fina de corriente de excitación del Motor DC	Regulación Fina de Frecuencia del Voltaje Generado en el Conjunto Ward Leonard

Todas las tareas de mantenimiento descritas en este documento se han realizado en estricto cumplimiento del artículo 92 y 93 del Decreto Ejecutivo 2393 - Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo.

1. El mantenimiento de máquinas deberá ser de tipo preventivo y programado.
2. Las máquinas, sus resguardos y dispositivos de seguridad serán revisados, engrasados y sometidos a todas las operaciones de mantenimiento establecidas por el fabricante que aconseje el buen funcionamiento de las mismas.
3. Las operaciones de engrase y limpieza se realizarán siempre con las máquinas paradas, preferiblemente con un sistema de bloqueo, siempre desconectadas de la fuerza motriz y con un cartel visible indicando la situación de la máquina y prohibiendo la puesta en marcha.
4. La eliminación de los residuos de las máquinas se efectuará con la frecuencia necesaria para asegurar un perfecto orden y limpieza del puesto de trabajo.

Se adoptarán las medidas necesarias conducentes a detectar de modo inmediato los defectos de las máquinas, resguardos y dispositivos de seguridad, así como las propias para subsanarlos, y en cualquier caso se adoptarán las medidas preventivas indicadas en el artículo anterior.

Adicionalmente, en cumplimiento del mencionado decreto ejecutivo 2393, se ha reacondicionado el cuarto de máquinas previo a la instalación del nuevo tablero de mediciones, estas acciones son las que se denotan a continuación y se muestran en las Figuras 9 - 16.

- ✓ Pintura de Máquinas, Figura 11.
- ✓ Señalización de seguridad por ruido, Figura 12.
- ✓ Delimitación de espacios peligrosos, Figura 13.
- ✓ Identificación clara de todos los elementos del conjunto Ward Leonard, Figura 14.

El tablero instalado consta de dos voltímetros: medición de voltajes de fase y de línea, junto a un frecuencímetro digital con un rango de 0 a 100 Hz; el tablero cubre cualquier rango de operación respetando los límites descritos en el manual de uso, Figuras 15 y 16.

Con la finalización del presente trabajo y el respaldo fotográfico presentado, se entrega al Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la Facultad de Ingeniería Eléctrica el Conjunto Variador de Frecuencia y Voltaje Ward Leonard en perfectas condiciones físicas, mecánicas y eléctricas listo para entrar en operación a plena capacidad.

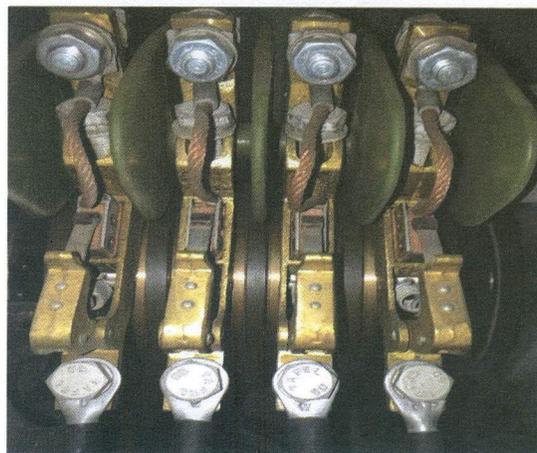


Figura 9. Anillos del Colector después de Tareas de Mantenimiento



Figura 10. Mantenimiento e Inspección de Escobillas



Figura 11. Trabajo de Pintura en Carcazas y Bases de Máquinas

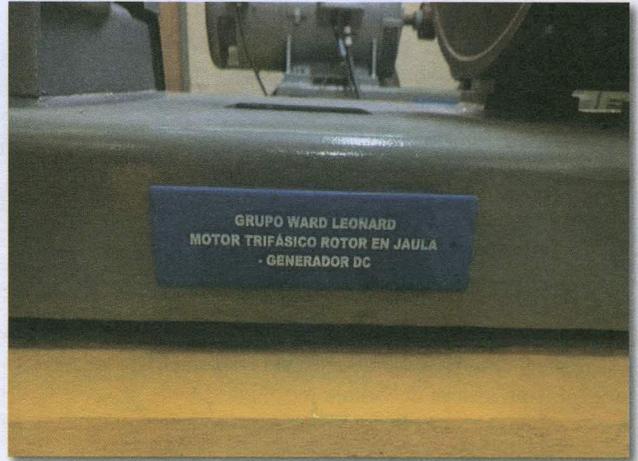


Figura 14. Ejemplo de Identificación Colocada en los componentes del Conjunto Ward Leonard



Figura 12. Estado de Entrega del Equipamiento Ward Leonard al Laboratorio de Máquinas Eléctricas



Figura 15. Nuevo Panel de Mediciones que Permite Regulación Manual In Situ



Figura 13. Finalización de Mantenimiento en Elementos de Control de Campo



Figura 16. Estado de Entrega de los Equipos de Control de Campo y Tablero de Mediciones

VI. CONCLUSIONES

Se establece una base sólida como punto de partida en la tarea de identificar cada componente mediante la elaboración de diagramas unifilares de los circuitos de control y fuerza, permitiendo efectuar pruebas eléctricas y mecánicas con seguridad pues de esta manera se tiene total certeza sobre la función que cumple cada elemento del conjunto, así como las limitaciones inherentes de un sistema fuera de operación por varios años.

El mantenimiento industrial es de enorme importancia en toda área donde se trabaje con maquinaria, ya que engloba en un solo proceso actividades de inspección, detección, reparación, calibración y mejora, las mismas que han sido correctamente aplicadas y llevadas a término sobre el equipamiento Ward Leonard, prolongando su vida útil a su vez permitiendo aumentar el potencial de investigación y desarrollo en el Laboratorio de Máquinas de la FIEE.

Los circuitos de excitación independiente del generador DC y del generador sincrónico están implementados con dos resistencias de diferente valor, conectados en serie para aumentar su rango de control sobre el voltaje terminal.

El equipamiento Ward Leonard en principio es un variador de frecuencia, al cual se le ha provisto de un generador sincrónico para el suministro de voltaje y frecuencia variables. Su control es realizado en tres partes, todas bajo el mismo principio de variación de la corriente DC de sus bobinados de campo, esto permite alcanzar en forma general un rango de variación de voltaje fase-fase de 0 a 300 V y un rango de variación de frecuencia de 0 a 100 Hz, se obtiene un control de voltaje de ± 70 V y un control de frecuencia de ± 10 Hz.

Con el nuevo panel de mediciones instalado, se pueden realizar ajustes mucho más finos debido a que la variación de parámetros de frecuencia y voltaje es realizada en forma manual y verificada visualmente, sin la necesidad de moverse del conjunto regulador.

REFERENCIAS

- [1] H. H. B. Guru, Máquinas Eléctricas y Transformadores, México d.f.: Oxford University Press, 2003.
- [2] S. . J. Chapman, Máquinas Eléctricas, México, D.F.: McGraw-Hill, 2012.
- [3] Electricidad Practica,» 2013. [En línea]. Available: <http://autodesarrollo-electricidadpractica.blogspot.com/2011/07/motores-electricos.html>. [Último acceso: 19 10 2017].
- [4] «Espacio Tesla,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/espaciotesta/corriente-alterna>. [Último acceso: 3 10 2017].
- [5] T. Luis, Máquinas Eléctricas, Quito: EPN, 2005.
- [6] J. Játiva, «Sistemas Eléctricos de Potencia,» de EPN, Quito, 2016.
- [7] «Apuntes de Máquinas Eléctricas,» Instituto Politécnico Nacional México - Esime, [En línea]. Available: <http://ramonmar.mex.tl>.
- [8] «Motor Asincrónico y Sincrónico,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.tuveras.com/máquinaasincrona/motorasincrono1.htm>.

- [9] O. Lobosco y J. L. Pereira, Selección y Aplicación de Motores Eléctricos, Barcelona: Siemens AG, 1989.
- [10] J. Cembranos, Automatismos Eléctricos Neumáticos e Hidráulicos, Paraninfo, 2008.
- [11] . IEEE Std, Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, New York: IEEE, 2004.
- [12] B. Nieto, Automatización del Tablero de Control del Laboratorio de Máquinas Eléctricas de la EPN, Quito: EPN, 2009.
- [13] D. Trujillo, Diagnóstico y Actualización del Tablero de Control y Mesas de Trabajo del Laboratorio de Máquinas Eléctricas EPN, Quito: EPN, 2009.
- [14] IEEE Std, Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery, New York: IEEE, 2013.
- [15] P. Angulo, «Blog de Pablo Angulo,» Blog EPN Profesores, 2017. [En línea]. Available: <http://pabloangulo.blog.epn.edu.ec/wp-content/uploads/sites/174/2014/09/El-Contactor-Electromagn%C3%A9tico.pdf>. [Último acceso: 12 octubre 2017].
- [16] Registro Oficial, Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo - Decreto Ejecutivo 2393, Quito, 2008.

BIOGRAFÍAS



Diego Raúl Rodríguez. Nació el 28 de mayo de 1991 en Quito. Realizó sus estudios en el Colegio San Gabriel, sus estudios superiores en la Facultad de Ingeniería Eléctrica en la Escuela Politécnica Nacional, basando su proyecto de titulación en programas de mantenimiento y puesta en operación de maquinaria eléctrica, enfocadas al análisis de respuesta de aparatos y equipos en condiciones variables de frecuencia y voltaje del suministro eléctrico.



Jesús Játiva Ibarra: Ingeniero Eléctrico (1981) de la Escuela Politécnica Nacional; Master of Science in Electrical Engineering (1988) y Doctor of Philosophy Ph.D. (1991) de la Universidad de Texas en Arlington Estados Unidos de América. Cursos de postgrado en Energy Conservation in Industry realizado en Suecia en 1995 y en Development Planning Techniques with Computer Applications efectuado en los Países Bajos en 1998. Cuenta con más de treinta años de experiencia en actividades de Planificación, Operación, Administración y Economía de sistemas eléctricos de potencia. Actualmente es Profesor Principal de la EPN.