



Diseño e implementación de un plan de mantenimiento para el laboratorio de Ingeniería Eléctrica con base en RCM (Reliability Centred Maintenance)

Design and implementation of a maintenance plan for the Electrical Engineering laboratory based on RCM (Reliability Centred Maintenance)

Desenho e implementação de um plano de manutenção para o laboratório de Engenharia Elétrica baseado em RCM (Reliability Centered Maintenance)

Luis Adrián González-Quiñónez ^I
luis08oso160@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-5026-0028>

Flavio Galo Villacrés-Zurita ^{II}
g_f_v_z@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5725-7312>

Mirna Geraldine Cevallos-Mina ^{III}
c_geraldine_1203@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5383-4522>

Roxana Jasmine Santillán-Vega ^{IV}
roxana_santillan@hotmail.es
<https://orcid.org/0000-0003-1718-7572>

Karla Roxeyine Realpe-Bolaños ^V
roxy1731@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2364-651X>

Correspondencia: luis08oso160@hotmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de Investigación

***Recibido:** 30 de julio de 2021 ***Aceptado:** 8 de agosto de 2021 * **Publicado:** 22 de septiembre de 2021

- I. Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales la Calidad el Medio Ambiente y la Responsabilidad Social Corporativa, Ingeniero de Mantenimiento, Docente Investigador de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- II. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- III. Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales, Ingeniera Química, Docente Investigador de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Ingeniera en Administración Pública, Directora Financiera en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.
- V. Máster Universitario en Dirección y Gestión de Recursos Humanos, Ingeniera Comercial Mención Administración de Empresas, Tesorera en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

El presente trabajo realizado para el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de nombre “German Prado” de la Universidad Técnica de Esmeraldas “Luis Vargas Torres”, tiene como fin, identificar los equipos críticos y definir los procedimientos básicos de mantenimiento que permita alargar la vida útil de los equipos y minimizar costes de reparación. A lo largo de esta investigación se desarrolla la metodología basada en RCM por sus siglas en inglés Reliability Centred Maintenance, aplicando análisis de criticidad y análisis de modo de efecto y fallo a los equipos y módulos del laboratorio, los que dieron como resultado las bases para la realización de la guía de mantenimiento propuesta. Con ello, se presentan los resultados los mismos que le ofrecen a la Universidad un impacto positivo en relación al manejo de información de mantenimiento y equipos del laboratorio que ayudan a gestionar y economizar costo a mediano y largo plazo.

Palabras claves: Diseño; implementación; criticidad; análisis; efecto; fallo; mantenimiento.

Abstract

The present work carried out for the Electrical Engineering laboratory called "German Prado" of the Technical University of Esmeraldas "Luis Vargas Torres", aims to identify the critical equipment and define the basic maintenance procedures that allow to extend the useful life of equipment and minimize repair costs. Throughout this research, the methodology based on RCM is developed by its English language Reliability Centred Maintenance, applying criticality analysis and effect and failure mode analysis to the laboratory equipment and modules, which resulted in the bases for the realization of the proposed maintenance guide. With this, the same results are presented that offer the University a positive impact in relation to the management of maintenance information and laboratory equipment that help to manage and save cost in the medium and long term.

Keywords: Design; implementation; criticality; analysis; effect; failure; maintenance.

Resumo

O presente trabalho realizado para o laboratório de Engenharia Eléctrica de nome “German Prado” da Universidade Técnica de Esmeraldas “Luis Vargas Torres”, tem como fim, identificar os equipamentos críticos e definir os procedimentos básicos de manutenção que permita prolongar a vida útil dos equipamentos e minimizar custos de reparação. Ao longo desta investigação desenvolve-se a metodologia baseada em RCM por suas siglas em inglês Reliability Centred Maintenance, aplicando análise de criticidade e análise de modo de efeito e falha aos equipamentos e módulos do laboratório, os quais deram como resultado as bases para a realização da guia de manutenção proposta. Com isso, são apresentados os resultados os mesmos que oferecem à Universidade um impacto positivo em relação ao manejo de informação de manutenção e equipamentos do laboratório que ajudam a gerenciar e economizar custo a médio e longo prazo.

os equipos obligatoriamente e definir os procedimientos básicos de mantenimiento que permiten alargar la vida útil de los equipos y minimizar costes de reparación. A lo largo de esta investigación se desarrolla la metodología basada en RCM por sus siglas en portugués Reliability Centered Maintenance, aplicando análisis de criticidad y análisis de modo de efecto y fallo a los equipos y y y y y los laboratorio, los que dieron como resultado las bases para la realización de la guía de mantenimiento propuesta. Con ello, se presentan los resultados los mismos que le ofrecen to la Universidad un impacto positivo en relación al manejo de información de mantenimiento y equipos del laboratorio that ayudan a gestionar y economizar cost a mediano y largo plazo.

Palavras-chave: Design; implementação; criticamente; análise; efeito; fracasso; manutenção.

Introducción

La Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres es una institución que lleva formando profesionales desde hace más de cinco décadas, cada semestre los estudiantes de los distintos niveles hacen uso de sus instalaciones para formar se académicamente, el laboratorio de ingeniería eléctrica es puesto en funcionamiento cada semestre para el uso de los estudiantes de la carrera. El uso de laboratorio infiere un alto flujo de trabajo en la mayoría de sus equipos que dependiendo de la materia este aumenta o disminuye, acumulando o alivianando diversas tareas de mantenimiento que son de suma importancia debido que el acumular estas tareas puede provocar un fallo crítico en equipos que pueden ser fundamentales para el funcionamiento del laboratorio.

Por esta razón resulta factible la realización de un análisis de criticidad para determinar equipos críticos y aplicando el análisis modal de efecto y fallo determinar las gestiones de mantenimiento a realizar específicas para cada módulo y/o equipo del laboratorio.

Este proyecto provee a la Universidad una guía de mantenimiento que pueden usar para gestionar el mantenimiento de los activos más importantes del laboratorio, manteniendo la disponibilidad de los mismos para que los estudiantes de futuras generaciones adquieran todos sus conocimientos necesarios para entrar en un mercado que está cada vez más competitivo. A lo largo de la historia, las gestiones de mantenimiento han tenido muchas facetas, lo cual ha mejorado considerablemente el funcionamiento de sistemas y ha alargado la vida útil de los

equipos. Sin embargo, es muy común que al mantenimiento no se le dé la debida importancia que requiere, por lo general suele ser poco atendido, a menos que sea un mantenimiento correctivo, es decir que sea inminente una reparación, lo cual conlleva a costes más elevados que se podrían evitar, optimizando el funcionamiento de estos para alargar su vida útil.

Las industrias, fabricas o instituciones técnicas suelen contar con gestiones de mantenimiento prioritarias para los equipos que suelen ser de costos de fabricación muy elevados y poco reparables, por otro lado, hay áreas y lugares que requieren de un mantenimiento especial que no suele llevarse a cabo como es el caso de los talleres, o laboratorios. En la actualidad la Universidad Técnica de Esmeraldas “Luis Vargas Torres” en su facultad de ingenierías cuenta con un laboratorio de ingeniería eléctrica con equipos y máquinas eléctricas a las que no se les brinda el mantenimiento requerido. Lo cual puede ser visto como una barrera que nos impide desarrollarnos, puesto que la falta de mantenimiento no solo puede causar el deterioro excesivo de los equipos y máquinas, sino que puede llegar a volver una máquina peligrosa al contacto directo. Cuando se trata de mantenimiento de equipos, intervienen varios factores de los cuales el económico suele ser el más relevante, lo que muchas veces retrasa las gestiones de mantenimiento.

Estos inconvenientes suelen darse ya sea por falta de presupuesto, información o incluso por falta de interés. Casi en todos los casos es menos costoso cubrir el gasto de la respectiva gestión de mantenimiento que cubrir el gasto de un equipo nuevo, aunque no siempre es muy evidente.

El análisis de la problemática expuesta nos lleva a plantear nuestra interrogante de investigación en los términos siguientes: ¿Como mantener el funcionamiento óptimo del laboratorio de ingeniería eléctrica minimizando los costes de mantenimiento?

El objetivo una vez planteadas las interrogantes es el de Diseñar e implementar un plan de mantenimiento eficaz y eficiente para el laboratorio de ingeniería eléctrica de la Facultad de Ingenierías (FACI) de la UTE-LVT, que optimice los recursos técnicos mediante la planificación del mantenimiento con base en RCM (Reliability Centred Maintenance).

Desarrollo

El laboratorio fue puesto en marcha en 2007 por Guillermo Mosquera Decano de la Facultad y Luis Cifuentes Subdecano de la facultad con la colaboración técnica de DIPRELSA y fue nombrado “German Prado” en honor al gran aporte del estudiante para abrir la carrera de

Ingeniería Eléctrica, este laboratorio de ingeniería cuenta con un área de 45m² y está a cargo del Sr. Simbaña desde entonces.

El laboratorio cuenta con material didáctico para las distintas materias pertenecientes a la escuela de ingeniería eléctrica como son laboratorio de; Circuitos Eléctricos I y II, Electrónica, Maquinas Eléctricas I y II, Controles Eléctricos Industriales y Automatización Industrial.

Actualmente está ubicado:

Edificio central de ingenierías FACI N°. B4

Encargado del laboratorio: Sr. Simbaña

Teléfono directo: 0980210153.



Figura 1. Croquis del laboratorio (Planta baja), UTELVT.

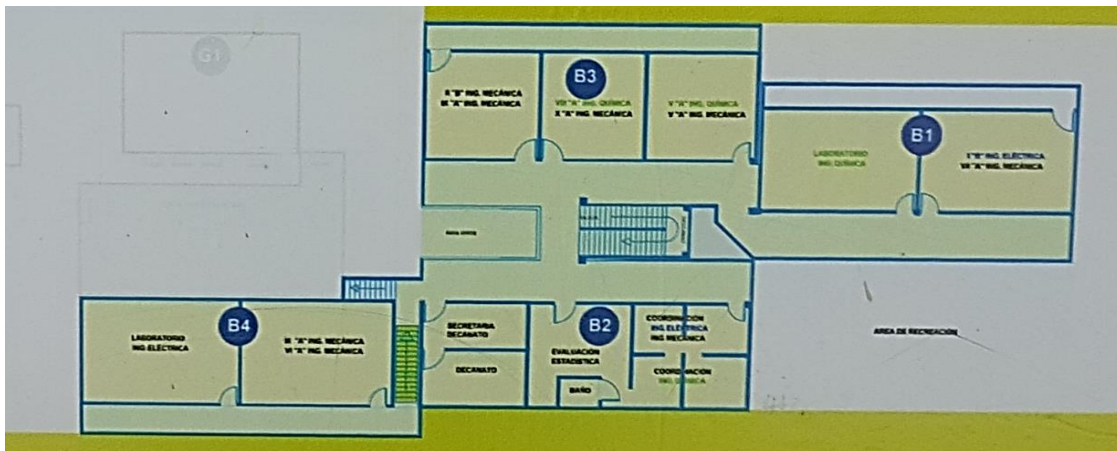


Figura 2. Croquis del laboratorio (Primera planta alta), UTELVT.

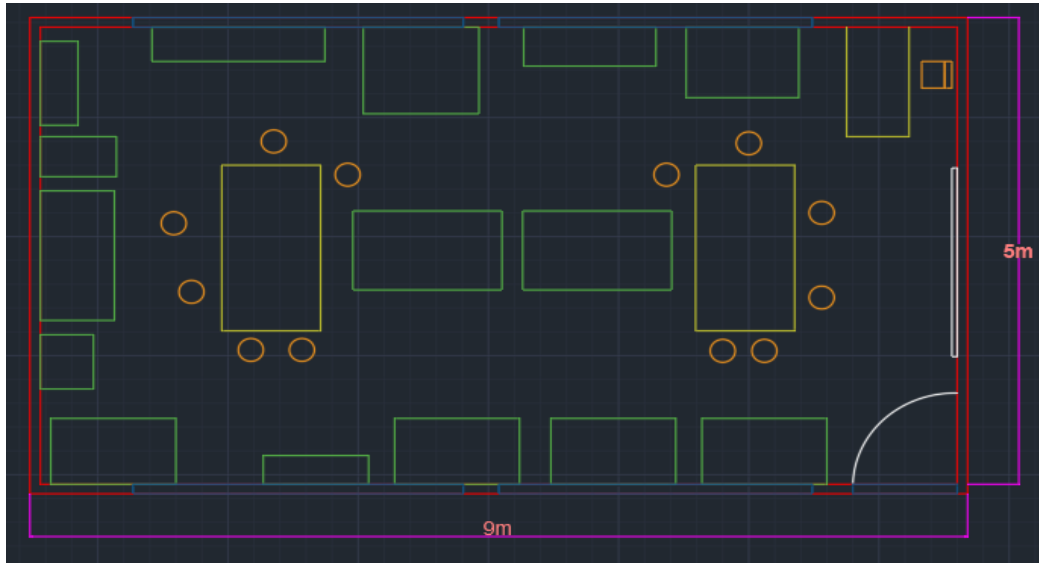


Figura 3. Distribución de equipos y espacio en el laboratorio. Elaborado: Autor.

Estructura del laboratorio (German Prado)

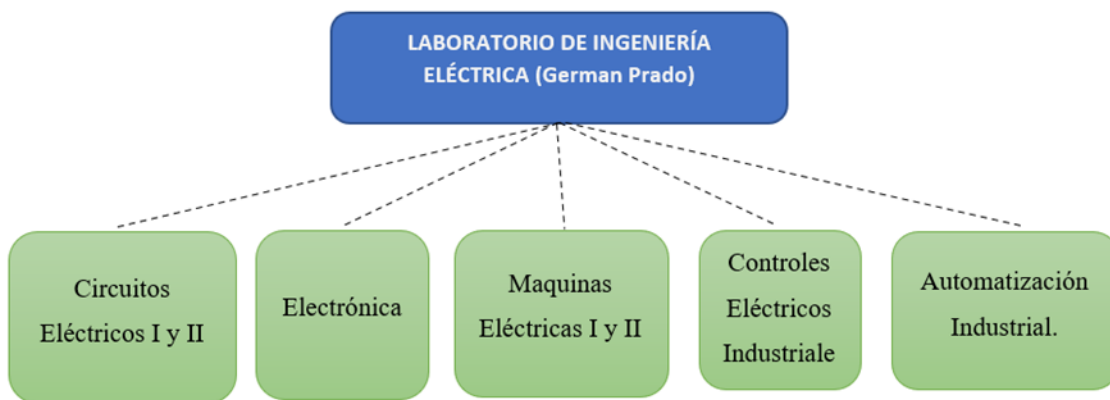


Figura 4. Estructura del laboratorio. Elaborado: Autor.

Tabla 1. Distribución de módulos en el laboratorio.

DISTRIBUCIÓN DE MÓDULOS Y EQUIPOS EN EL LABORATORIO							
Materias	Circuitos Eléctricos I	Circuitos Eléctricos II	Electrónica	Maquinas Eléctricas I	Maquinas Eléctricas II	Controles Eléctricos Industriales	Automatización Industrial
Módulos y Equipos	Módulo didáctico de modelo electrotecnia de circuitos eléctricos.	Módulo didáctico para pruebas y calibración de equipos de instrumentación en sistemas eléctricos. Módulo didáctico de redes de distribución eléctrica hasta 13.KV.	Sistema fotovoltaico para alimentar el circuito de iluminación y un punto de fuerza del laboratorio.	Módulo didáctico de pruebas en transformadores. Módulo didáctico de entrenamiento para conexicionado y medición de variables de máquinas rotativas	Módulo didáctico de generación sincrónica. Módulo didáctico de adquisición de datos de un motor de corriente continua.	Módulo didáctico para realizar prácticas de control eléctrico industrial.	Módulo didáctico de sistemas de presión constante controlado mediante PLC. Módulo didáctico de variadores de velocidad y arrancadores suaves controlados por PLC. Módulo didáctico de autómatas programables PLCs Zelio.

Metodología

Estudio de indicadores de mantenimiento

Para realizar el estudio de confiabilidad en los equipos se debe realizar un análisis de histórico de fallas y mantenimientos realizados en el laboratorio para poder así desarrollar los parámetros de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad. Por motivo de falta de un histórico de fallas y mantenimientos en el laboratorio no es posible realizar los cálculos de confiabilidad, pero a continuación se expone los lineamientos a seguir para ser desarrollados a futuro con las bases que ya se plantea en el documento presente.

Estudio de confiabilidad

Si bien no existe un modelo estadístico determinado para predecir el tiempo en el cual ocurre una falla, es posible aplicar análisis probabilístico que bajo las condiciones de uso en función de un tiempo determinan una aproximación (Acuña, 2003).

La confiabilidad depende de la salud de cada componente del laboratorio, tanto del funcionamiento mecánico como eléctrico, matemáticamente puede definirse como:

Donde:

t= Tiempo de la misión (horas, semanas, días, meses, años, etc.)

λ = Tasa de Falla

$$C(t) = e^{-\lambda*t}$$

La tasa de fallos $\lambda(t)$ se puede definir como:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

La tasa de fallos consiste en una frecuencia de fallos, expresado en fallos por hora. El comportamiento de La tasa de fallos $\lambda(t)$ suele seguir normalmente una evolución con el tiempo parecido al representado en la denominada «curva de la bañera», *Figura 6* (Acuña, 2003).

La relación entre la función confiabilidad y la probabilidad de falla se muestra en la *Figura 9*.

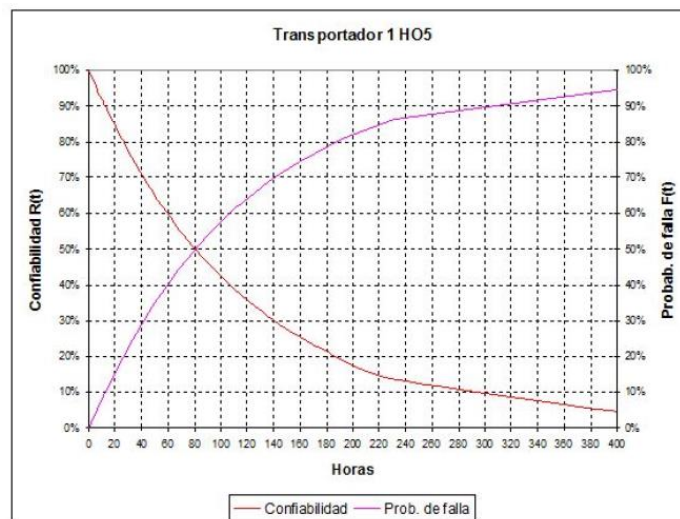


Figura 5. Grafica de función confiabilidad y probabilidad.

Disponibilidad

Para hallar la disponibilidad se suelen usar varias fórmulas de cálculo, en las que el tiempo calendario se cambia por el tiempo disponible, siendo el tiempo disponible la diferencia entre calendario y paradas programadas (Acuña, 2003).

$$\text{Disponibilidad} = \left(\frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \right) \times 100$$

Donde:

MTTF: Tiempo promedio que funciona el elemento antes de fallar.

MTTR: Tiempo medio entre reparaciones.

Mantenibilidad

Para calcular la mantenibilidad se debe determinar el promedio de reparación TPPR, que cuantitativamente se refiere a la facilidad con que se repara el equipo o máquina.

Se define como:

$$M(t) = e^{-\mu * t} = e_{TPPR}^{*1}$$

Aplicación de RCM

Tabla 2. Listado de componentes de módulo de generación sincrónica, Autor (Para los demás módulos ver Anexo D-).

MODULO/ EQUIPO	COMPONENTES	ELEMENTOS	MODO DE FALLO	CAUSA DE FALLO	EFECTO DE FALLO
MÓDULO DIDÁCTICO DE GENERACIÓN SINCRÓNICA	Contactor	Bobina	Contacto a masa	Desgaste del aislante	Contactos en cortocircuito
		Contactos primarios	Sulfatación de contactos	Mal contacto	Perdida del circuito de fuerza
		Contactos móviles	Sulfatación de contactos	Mal contacto	Perdida del circuito de mando
	Medidores analógicos (voltímetros/ amperímetros)	Aguja	Descalibración de la aguja	Exceso de corriente/ voltaje	Medición errónea
		Bimetal	Sobrepasar el límite nominal de medición	Exceso de corriente/ voltaje	Medición errónea
	Pulsadores NA y NC industriales	Mecanismo de presión	No se acciona	Desgaste por el uso	Impide el funcionamiento del equipo

		Resorte	Se queda presionado el botón	El resorte perdió sus propiedades	Impide el funcionamiento normal del equipo
		Contactos	Sulfatación de contactos	Mal contacto	Perdida del circuito de fuerza
	Interruptores tipo paco	Perilla	Deja de girar	Ruptura de la base	No cambia de posición
		Contactos de Entrada/Salida	Sulfatación de contactos	Mal contacto	Perdida del circuito de fuerza
	Leds industriales	Leds/tapa	No emite luz	Exceso de suciedad	Circuito sin señalización
				Led quemado	
				Mal contacto en borneras	
	Enchufe industrial	Cobertor aislante	Fuga de tensión eléctrica	Mal ajuste de terminales	Tensión expuesta
				Cobertor partido	
	Cableado	Cables	No conduce	Mal contacto	Impide que funcione el circuito
		Terminales	Mal contacto	Cable cortado	
	PLC Ge Fanuc	Modular	Fallas en módulos de E/S y dispositivos remotos.	Desajuste de terminales	El módulo del PLC deja de funcionar
		CPU	Memoria dañada	interferencias electromagnéticas o de radiofrecuencia	PLC no operativo
	Interruptor termomagnético	Sistema bimetalico interno	Sobrepasar el límite nominal de ruptura	Exceso de corriente	Cortocircuito interno
		Contactos	Sulfatación de contactos	Mal contacto	Perdida del circuito de fuerza
	Motor eléctrico	Rotor	Fricción	Eje desalineado	Sobrecalentamiento
					Vibración excesiva
		Estator	Fricción	Estator desalineado	Sobrecalentamiento
Vibración excesiva					

		Rodamientos	Fricción	Rodamientos partidos	Vibración excesiva
				Fata de lubricación	Desgaste excesivo
		Carcaza	Carcaza estropeada	Golpe/Desajuste	Vibración/ rotura

Nota: Para más información sobre los demás ver Anexos, D – H.

Análisis de criticidad

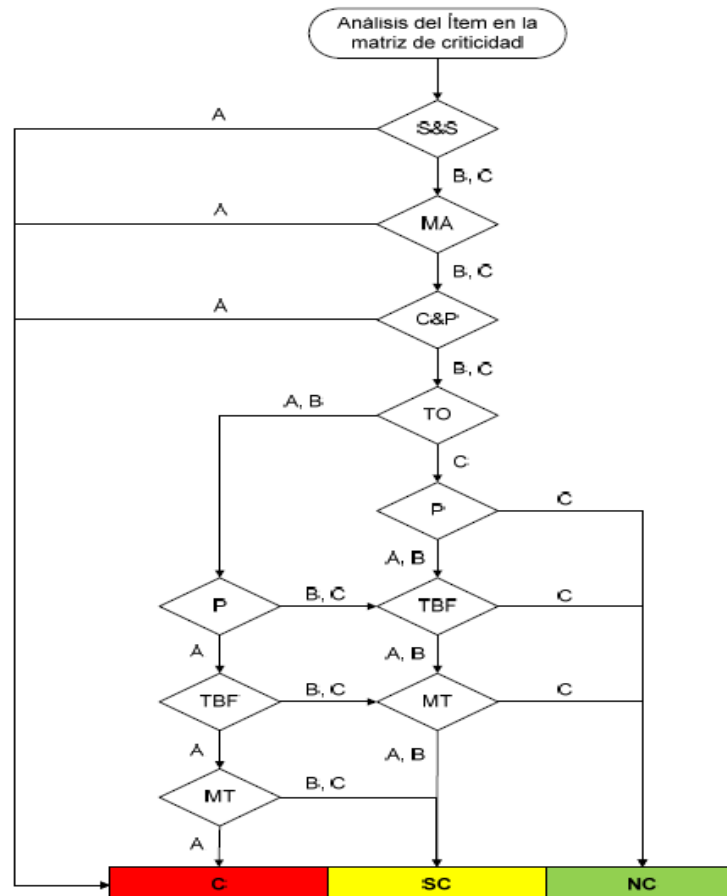
Usando como criterio la matriz de criticidad de la Tabla 8 y el flujograma de criticidad de la Figura 10 se obtiene las tablas de análisis crítico pertenecientes a los módulos y equipos de trabajo del laboratorio.

Tabla 8. Matriz de criticidad.

MATRIZ DE CRITICIDAD			
Causas de paradas no planeadas			
Área de Impacto	A Riesgo Alto	B Riesgo Medio	C Riesgo Bajo
Seguridad y Salud (S&S)	Alto riesgo de vida del personal	Riesgo de vida significativa del personal	No existe riesgo ni de salud ni de daños al personal
	Daños graves en la salud del personal	Daños menores en la salud del personal	
Medio Ambiente (MA)	Alto excedente de los límites permitidos de derrames y fugas	Excedente de los límites permitidos y repetitivos de derrames y fugas	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y Productividad (C&P)	Defectos de producción	Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
	Reducción de velocidad		
	Reducción de producción		
Producción (P)	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
Operación de equipos			
Área de Impacto	A Riesgo Alto	B Riesgo Medio	C Riesgo Bajo
Tiempos de operación (TO)	24 horas diarias	2 turnos u horas normales de trabajo	Ocasionalmente o no es un equipo de producción
Intervalos entre actividades (TBF)	Menos de 6 meses	En promedio una vez al año	Raramente
Tiempos y Costos de Mantenimiento (MT)	Tiempo y/o costos de reparación altos	Tiempo y/o costos de reparación razonables	Tiempo y/o costos de reparación irrelevantes

A continuación, el flujoograma desglosa la matriz de criticidad analizando los ítems nombrados en la misma.

Figura 10. Flujoograma de ítems en la matriz de criticidad.



Análisis de criticidad de módulos

Tabla 9. Análisis de criticidad de módulo de generación sincrónica.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA MÓDULO DIDÁCTICO DE GENERACIÓN SINCRÓNICA								
COMPONENTES	S&S	MA	C&P	TO	P	TBF	MT	CRITICIDAD
Contactor	C	C	B	B	B	A	C	NC
Medidores analógicos	C	C	C	B	C	A	C	NC
Pulsadores NA y NC industriales	C	C	B	B	B	A	C	NC
Interruptores tipo paco	C	C	B	B	B	A	C	NC
Leds industriales	C	C	C	B	C	-	-	NC
Enchufe de la fuente	A	-	-	-	-	-	-	C
Cableado	B	C	C	B	A	A	B	SC
PLC Ge Fanuc	C	C	A	-	-	-	-	C

Interruptor termomagnético	B	C	C	B	A	A	C	SC
Motor eléctrico	C	C	B	B	B	A	A	C

FMEA, Tablas de índice de prioridad de riesgo de módulos

Tabla 3. FMEA en módulo de generación sincrónica.

MODULO/ EQUIPO	COMPONENTES	ELEMENTOS	Evaluación			
			Severidad	Ocurrencia	Detección	IPR
MÓDULO DIDÁCTICO DE GENERACIÓN SINCRÓNICA	Contactor	Bobina	7	2	4	56
		Contactos primarios	6	4	5	120
		Contactos secundarios	4	3	5	60
	Medidores analógicos (voltímetros/ amperímetros)	Aguja	1	3	9	27
		Bimetal	1	1	10	10
	Pulsadores NA y NC industriales	Mecanismo de presión	7	5	5	175
		Resorte	3	5	7	105
		Contactos	4	3	5	60
	Interruptores tipo paco	Perilla	7	4	4	112
		Contactos de Entrada/Salida	4	3	5	60
	Leds industriales	Leds/tapa	4	5	2	40
	Enchufe de la fuente	Contactos	9	6	1	54
	Cableado	Cable	3	2	5	30
		Conector macho/hembra	4	7	8	224
	PLC Ge Fanuc	Modular	7	3	4	84
		CPU	7	3	2	42
	Interruptor termomagnético	Sistema bimetalico interno	1	5	10	50
		Contactos	6	4	5	120

	Motor	Rotor	6	3	6	108
		Estator	6	2	6	72
		Rodamientos	6	6	6	216
		Carcaza	3	5	5	75

Resultados

Tabla de mantenimiento

En el estudio del mantenimiento del laboratorio basado en la confiabilidad y más concretamente en el estudio del mantenimiento predictivo aplicado a los equipos y módulos del laboratorio “German Preado”, se obtuvo la Tabla 11 en la que constan las tareas de mantenimiento a realizar de forma anual para garantizar el funcionamiento óptimo y la fiabilidad de los equipos durante ambos periodos académicos de la universidad. No obstante, un equipo puede averiarse por mala práctica, para ello el encargado de laboratorio debería seguir el procedimiento presentado en el flujograma de la Figura 11.

Figura 11. Flujo de proceso de mantenimiento de equipos. Elaborado: Autor.

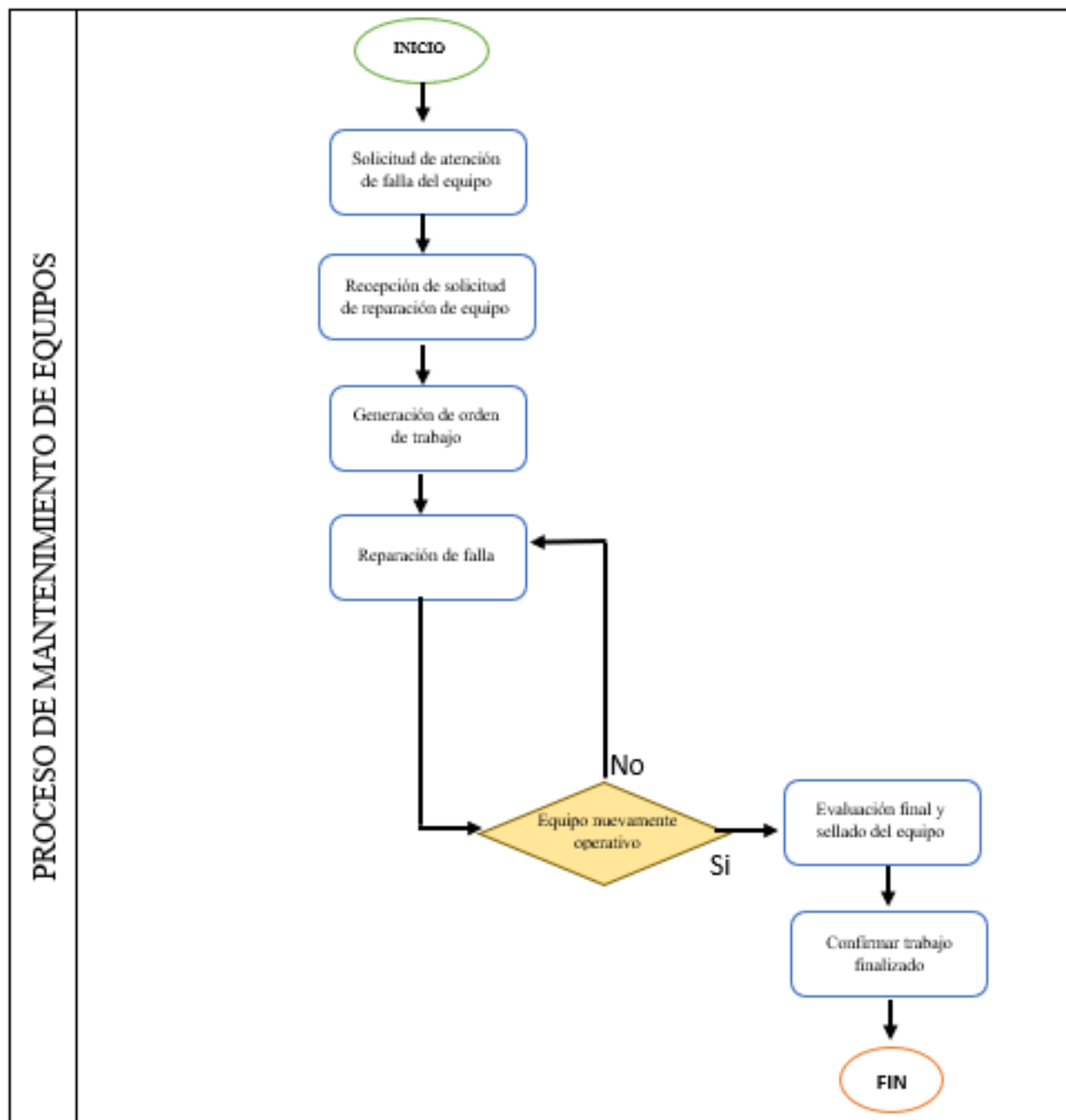


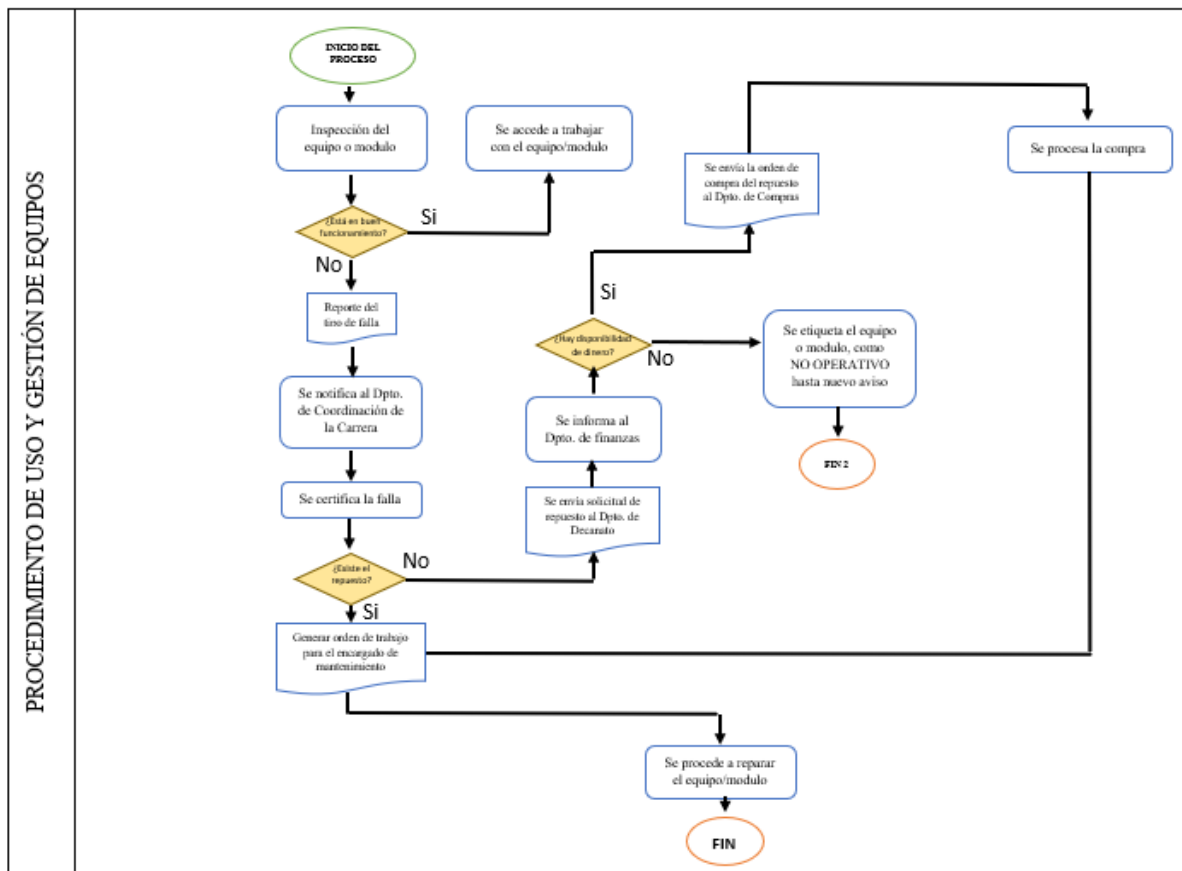
Tabla 4. Plan de mantenimiento preventivo para el laboratorio de Ingeniería Eléctrica.

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA					
EQUIPOS	SECTOR	TAREAS	Cualificación	Periodicidad	Tiempo P/u
Contactor	Mecánico	Pruebas mecánicas de funcionamiento	1 Técnico	4 meses	15 min
		Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	45 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Pruebas de funcionamiento eléctrico con carga	1 Técnico	4 meses	45 min
Medidores analógicos	Mecánico	Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	45 min
		Chequeo de movilidad de aguja	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de medición	1 Técnico	4 meses	30 min
		Calibración	1 Técnico	6 meses	1h
Pulsadores NA y NC industriales	Mecánico	Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
		Chequeo de mecanismo de presión	1 Técnico	4 meses	15 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Cheque de continuidad en borneras	1 Técnico	4 meses	30 min
Interruptores tipo paco	Mecánico	Chequeo de mecanismo de giro	1 Técnico	4 meses	15 min
		Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Cheque de continuidad en borneras	1 Técnico	4 meses	15 min
Leds industriales	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de continuidad en borneras	1 Técnico	4 meses	30 min
Enchufe de la fuente	Mecánico	Chequeo de carcaza y aislante	1 Técnico	4 meses	15 min
		Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de continuidad en borneras	1 Técnico	4 meses	30 min
Cableado	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete de terminales	1 Técnico	4 meses	45 min
		Reordenamiento del cableado de mando y fuerza	1 Técnico y 1 ayudante	12 meses	1 h
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	30 min
		Pruebas de continuidad eléctrica	1 Técnico	12 meses	30 min
PLCs	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	45 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Pruebas de funcionamiento eléctrico con carga	1 Técnico 1 ayudante	4 meses	1h
		Actualización de software	1 Técnico	6 meses	1h
Interruptor termomagnético	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	45 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min

		Chequeo de continuidad en borneras	1 Técnico	4 meses	1545 min
Motores eléctricos	Mecánico	Pruebas mecánicas del funcionamiento del motor	1 Técnico 1 ayudante	6 meses	45 min
		Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico 1 ayudante	4 meses	45 min
		Cambio de rodamientos	1 Técnico 1 ayudante	12 meses	1 h
		Lubricación de partes móviles	1 Técnico 1 ayudante	2 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Prueba de sistema de arranque y parada	1 Técnico 1 ayudante	4 meses	45 min
Variador de velocidad VFD-L	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Pruebas de funcionamiento eléctrico con carga	1 Técnico	4 meses	30 min
Electroválvulas	Mecánico	Limpieza de válvula	1 Técnico 1 ayudante	4 meses	45 min
		Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Pruebas de apertura y cierre	1 Técnico	4 meses	30 min
Tubería	Mecánico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de uniones	1 Técnico	4 meses	30 min
		Recirculación de fluidos	1 Técnico 1 ayudante	4 meses	30 min
Pantallas HMI Crimnos	Mecánico	Limpieza de panel táctil	1 Técnico	4 meses	15 min
		Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Pruebas de funcionamiento de pantalla	1 Técnico 1 ayudante	4 meses	45 min
Trasmisor de presión siemens	Mecánico	Calibración de transmisor	1 Técnico	6 meses	1h
		Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de medición	1 Técnico	4 meses	15 min
Caudalímetro	Mecánico	Calibración de Caudalímetro	1 Técnico	6 meses	1h
		Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de medición	1 Técnico	4 meses	15 min
Temporizador analógico	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de temporizador	1 Técnico	4 meses	15 min
Relé térmico	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de parámetros nominales	1 Técnico	4 meses	30 min
Sensor óptico	Mecánico	Calibración de sensor	1 Técnico	6 meses	1h
		Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min


	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de medición	1 Técnico	4 meses	15 min
Multímetro Digital KM-96E	Mecánico	Calibración de sensor	1 Técnico	6 meses	1h
		Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de medición	1 Técnico	4 meses	15 min
Potenciómetro	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
	Eléctrico	Inspección Visual	1 Técnico	4 meses	15 min
		Chequeo de resistencia óhmica	1 Técnico	4 meses	45 min
Transformadores	Mecánico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	1 Técnico	4 meses	30 min
		Limpieza bobinados	1 Técnico 1 ayudante	4 meses	30 min
	Eléctrico	Chequeo de resistencia óhmica	1 Técnico	6 meses	45 min
Medición de continuidad núcleo/bobinas		1 Técnico	6 meses	30 min	

Figura 6. Proceso de uso y gestión de equipos.



Orden de trabajo

Tabla 5. Orden de trabajo.

		LABORATORIO			
ORDEN DE TRABAJO					
DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO Y PROYECTOS					
Hora y Fecha de Inicio				Orden de trabajo No.	
Hora y Fecha finalizado				Nombre del Project.	
Tipo de Mantenimiento		Correctivo <input type="checkbox"/>	Preventivo <input type="checkbox"/>		
		Emergente <input type="checkbox"/>	Predictivo <input type="checkbox"/>		
Área:	Equipo:		Código:		
Cuadrilla de técnicos:	Eléctricos <input type="checkbox"/>	Albañiles <input type="checkbox"/>	Torneros <input type="checkbox"/>		
electrónicos <input type="checkbox"/>	Mecánicos <input type="checkbox"/>	Soldadores <input type="checkbox"/>	Pintores <input type="checkbox"/>		
Dotación del personal:			Tiempo total de la operación		
Trabajo Interno <input type="checkbox"/>			Trabajo de Particulares <input type="checkbox"/>		
Materiales					
Descripción de la Actividad	Cant.	Descripción /código	Calibrado	Reparado	Cambiado
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Observaciones:					
Nota importante: Al realizar las tareas encomendadas en la presente orden de trabajo deberá tener en cuenta las condiciones de seguridad descritas a continuación que correspondan al caso.					
Precauciones preliminares	Despejar el área de trabajo	<input type="checkbox"/>	Elevado nivel de ruido	Utilizar protectores auditivos	<input type="checkbox"/>
	Realizar una adecuada señalización	<input type="checkbox"/>	Riesgo Ergonómico	Posiciones adecuadas para realizar esfuerzos	<input type="checkbox"/>
Riesgo Mecánico	Utilizar casco de Seguridad	<input type="checkbox"/>	Riesgo eléctrico	Utilizar adecuadamente las herramientas	<input type="checkbox"/>
	Utilizar guantes protectores	<input type="checkbox"/>		Desconectar la entrada de voltaje y colocar sello de seguridad.	<input type="checkbox"/>
	Utilizar manto anti flama	<input type="checkbox"/>		Puesto a tierra el Equipo	<input type="checkbox"/>
	Utilizar mascara protectora	<input type="checkbox"/>	Utilizar guantes Apropriados	<input type="checkbox"/>	
	Utilizar gafas	<input type="checkbox"/>	Riesgo de gases	Utilizar mascarillas para el tipo de gases	<input type="checkbox"/>
Nombre del contratista:		Teléf.		Compañía:	

Indicadores de cumplimiento

Estos indicadores de cumplimiento se adjuntan a la tesis para estimar el mantenimiento anual cuando se realicen dichas tareas, esto permitirá mantener el registro de mantenimiento y contar con un porcentaje de actividades realizadas.

Tabla 6. Indicadores de cumplimiento.

INDICADORES DE CUMPLIMIENTO					
Equipos/Componentes	Actividades	Periodicidad	Total de Actividades Anual	Total de Actividades Cumplidas	Porcentaje de Actividades Cumplidas
Contactor	Pruebas mecánicas de funcionamiento	4 meses	3		0%
	Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Pruebas de funcionamiento eléctrico con carga	4 meses	3		0%
Medidores analógicos	Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Chequeo de movilidad de aguja	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de medición	4 meses	3		0%
	Calibración	6 meses	2		0%
Pulsadores NA y NC industriales	Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Chequeo de mecanismo de presión	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Cheque de continuidad en borneras	4 meses	3		0%
Interruptores tipo paco	Chequeo de mecanismo de giro	4 meses	3		0%
	Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Cheque de continuidad en borneras	4 meses	3		0%
Leds industriales	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de continuidad en borneras	4 meses	3		0%

Enchufe de la fuente	Chequeo de carcaza y aislante	4 meses	3		0%
	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de continuidad en borneras	4 meses	3		0%
Cableado	Limpieza de bornes y reapriete de terminales	4 meses	3		0%
	Reordenamiento del cableado de mando y fuerza	12 meses	1		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Pruebas de continuidad eléctrica	12 meses	1		0%
PLCs	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Pruebas de funcionamiento eléctrico con carga	4 meses	3		0%
	Actualización de software	6 meses	2		0%
Interruptor termomagnético	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de continuidad en borneras	4 meses	3		0%
Motor eléctrico	Pruebas mecánicas del funcionamiento del motor	6 meses	2		0%
	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Cambio de rodamientos	12 meses	1		0%
	Lubricación de partes móviles	2 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Prueba de sistema de arranque y parada	4 meses	3		0%
Variador de velocidad VFD-L	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Pruebas de funcionamiento eléctrico con carga	4 meses	3		0%
Electroválvulas	Limpieza de válvula	4 meses	3		0%
	Limpieza de bornes y reapriete del	4 meses	3		0%

	mismo				
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Pruebas de apertura y cierre	4 meses	3		0%
Tubería	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de uniones	4 meses	3		0%
	Recirculación de fluidos	4 meses	3		0%
Pantallas Crimmson	HMI Limpieza de panel táctil	4 meses	3		0%
	HMI Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	HMI Inspección Visual	4 meses	3		0%
	HMI Pruebas de funcionamiento de pantalla	4 meses	3		0%
Trasmisor de presión siemens	Calibración de transmisor	4 meses	3		0%
	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de medición	4 meses	3		0%
Caudalímetro	Calibración de Caudalímetro	4 meses	3		0%
	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de medición	4 meses	3		0%
Temporizador analógico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	6 meses	2		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de temporizador	4 meses	3		0%
Relé térmico	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de parámetros nominales	4 meses	3		0%
Sensor óptico	Calibración de sensor	4 meses	3		0%
	Limpieza de contactos, bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de medición	4 meses	3		0%
Multímetro Digital KM-96E	Calibración de sensor	4 meses	3		0%
	Limpieza de bornes y reapriete del	4 meses	3		0%

	mismo				
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de medición	4 meses	3		0%
Potenciómetro	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	4 meses	3		0%
	Inspección Visual	4 meses	3		0%
	Chequeo de resistencia óhmica	4 meses	3		0%
Transformador de corriente	Limpieza de bornes y reapriete del mismo	12 meses	1		0%
	Limpieza bobinados	4 meses	3		0%
	Chequeo de resistencia óhmica	12 meses	1		0%
	Medición de continuidad núcleo/bobinas	4 meses	3		0%


Resultados de indicadores de cumplimiento

TAREAS ANUALES		PORCENTAJES
ACTIVIDADES ANUALES	238	100%
ACTIVIDADES ANUALES CUMPLIDAS	0	0%
PORCENTAJE MINIMO DE TAREAS ANUALES ASMIRADAS		95%

Figura 7. Grafica de indicadores de cumplimiento.



Lista de chequeo

CHEQUEO MENSUAL PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS							
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE ESMERALDAS LUIS VARGAS TORRES	LABORAT ORIO DE INGENIERÍ A ELÉCTRIC A	Fecha:	Encargado de Laboratorio:			
	FACULTAD DE INGENIERÍAS (FACI)			Firma:			
Lista de chequeos básicos de equipos			Horas de funciona miento	Cum ple	No cum ple	Falla detectada Si No	Observación
Módulo didáctico de generación sincrónica							
Niveles de tensión correspondientes							
Encendido normal del equipo							
Buen funcionamiento de sus partes mecánicas							
Buen funcionamiento de sus partes eléctricas							
Equipos de protección regulados y en buen funcionamiento							
Módulo didáctico de sistemas de presión constante controlado mediante PLC							
Niveles de tensión correspondientes							
Encendido normal del equipo							
Buen funcionamiento de sus partes mecánicas							
Buen funcionamiento de sus partes eléctricas							
Equipos de protección regulados y en buen funcionamiento							
Módulo didáctico para realizar prácticas de control eléctrico industrial							
Niveles de tensión correspondientes							
Encendido normal del equipo							
Buen funcionamiento de sus partes mecánicas							
Buen funcionamiento de sus partes eléctricas							
Equipos de protección regulados y en buen funcionamiento							
Módulo didáctico de variadores de velocidad y arrancadores suaves controlados por PLC 1							
Niveles de tensión correspondientes							
Encendido normal del equipo							
Buen funcionamiento de sus partes mecánicas							
Buen funcionamiento de sus partes eléctricas							
Equipos de protección regulados y en buen funcionamiento							

Módulo didáctico de autómatas programables PLCs Zelio						
Niveles de tensión correspondientes						
Encendido normal del equipo						
Buen funcionamiento de sus partes mecánicas						
Buen funcionamiento de sus partes eléctricas						
Equipos de protección regulados y en buen funcionamiento						
Módulo didáctico de variadores de velocidad y arrancadores suaves controlados por PLC 2						
Niveles de tensión correspondientes						
Encendido normal del equipo						
Buen funcionamiento de sus partes mecánicas						
Buen funcionamiento de sus partes eléctricas						
Equipos de protección regulados y en buen funcionamiento						
Motores eléctricos						
Revisión de carcaza en buen estado						
Encendido normal del equipo						
Buen funcionamiento de sus partes mecánicas						
Chequeo de lubricación de la maquina						
Chequeo de vibración en la maquina						

Etiquetado con Código QR

Parte de la propuesta consiste en etiquetar los equipos con código QR para administrar los activos del laboratorio de forma más simples y eficientes. Un código QR consiste en un código de barras bidimensional en forma cuadrada, en la que se alojan los datos codificados. Generalmente esos los datos suelen ser enlaces a un sitio web (URL). (Unitag QR, s. f.)

En la actualidad, la codificación QR se pueden ver en cartas de restaurante, carteles, revistas, entre otros. Cada persona puede detectar fácilmente estos códigos de barras al alrededor. Los códigos QR nos permite interactuar con el mundo a través de su smartphone, ya que extiende los datos a disposición de cualquier objeto físico y crean una medida digital.

Etiquetar los equipos del laboratorio permitirá tener más control de los módulos y equipos con los que se cuenta, además da la opción tanto al estudiante como al docente a informarse desde su teléfono móvil y conocer el equipo o el módulo antes, durante o después de usarlo.

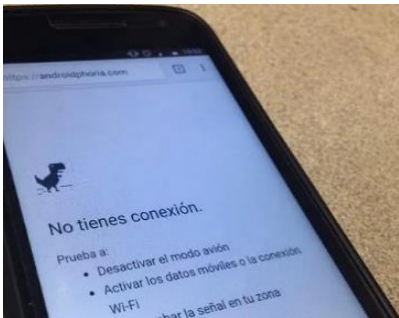
Para ello se asignó 3 fichas técnicas a 3 equipos de muestra, el código QR correspondiente a cada equipo permite acceder a la información almacenada previamente. Ante esto pueden surgir las preguntas como.

¿Qué tengo que hacer para acceder a la información del código QR?



Actualmente todos o en su mayoría tienen un teléfono inteligente los cuales cuentan con un lector de código QR integrado, para usarlo solo se debe abrir la aplicación, y se apunta la cámara hacia el código QR y este al leerlo lo redireccionará hacia un archivo PDF que cuenta con la información del equipo.

¿Necesito internet?



todos los equipos del laboratorio.

Lamentablemente es necesario que cuente con internet para poder acceder a la información contenida en el código QR, sin embargo, tiene varias alternativas: la primera es tomarle foto al código y abrirlo en un lugar en el que pueda acceder a internet, la segunda es dirigirse a los Anexo A - D de este documento, donde podrá encontrar las fichas técnicas de



¿Para qué me sirve?

Esto les permite contar con información valiosa del equipo o módulo del laboratorio que desee conocer, como por ejemplo ¿Qué es? ¿Cómo funciona? ¿Qué puedo hacer con él? ¿Cuáles son sus características técnicas? Esto sin lugar a duda resulta de gran utilidad, tanto para no dañar los equipos

del laboratorio como para hacer que el usuario interactúe directamente con el equipo y relacione visualmente con la teoría aprendida en clases, esto independientemente de si es el docente, estudiante o alguien que desee informarse acerca de los equipos contenidos en el laboratorio.

Para crear las imágenes de códigos QR se usó el sitio web <https://www.qrcode-monkey.com/es> que nos permite crear y enlazar el código a una URL, un texto, un email entre otros. Para este proyecto se enlazo a la nube de Google Drive donde se almacenaron los archivos PDF que contenían la ficha técnica de los respectivos equipos. Siendo una cuenta de Google para acceder a ella y poder agregar un nuevo equipo en un futuro se adjunta correo y contraseña de la cuenta.

Correo: faci.laboratorio.el@gmail.com

Contraseña: Facultad1electrica

Modernización de equipos

Luego del análisis realizado en los módulos de trabajo del laboratorio resulta cuestionable la eficiencia de ciertos equipos de trabajo, los cuales presentan problemas debido al tiempo ya transcurrido que los ha vuelto obsoletos, imposibilitando que puedan cumplir la función para la que fueron diseñadas. Estos inconvenientes suelen ser no reparables, como por ejemplo la incompatibilidad del equipo con sistemas más modernos o simplemente poca eficiencia debido a las mejoras tecnológicas en el mercado.

El mercado tecnológico avanza constantemente por ello es recomendable que se mantenga actualizado los equipos que lo requieren para evitar que queden no operativos. A continuación, se muestran los equipos que deberían ser reemplazados por su incapacidad de funcionamiento óptimo, ejemplo de ello:

Osciloscopio Precision Model 1470



Figura 15. Osciloscopio Precision Model 1470

Osciloscopio Digital Rigol DS1054Z50



Figura 14. Osciloscopio Digital Rigol DS1054Z 50

Como se puede ver en la Figura 15 es un equipo no solo capaz sino completo, que sin duda será de gran utilidad, cuenta con de cuatro canales y un ancho de banda 50 MHz, además pertenece a la clase económica de nueva generación de osciloscopios digitales por lo que su precio no es muy costoso.

PLC Zelio Schneider



Figura 16. PLC Zelio Schneider

PLC S7-1200



Figura 17. PLC S7-1200

El PLC de la Figura 16 pertenece al módulo de laboratorio presentado en Anexo G de nombre “Módulo didáctico de autómatas programables PLCs Zelio” este módulo a pesar de que funciona, debido a la antigüedad del PLC el cable no es compatible con los puertos modernos de un pc actual, al cambiarlo por un SIMATIC S7-1200 se garantiza una operatividad fiable por muchos años más y debido a su eficiente y a su amplia gama de funciones tecnológicas.

PCs del laboratorio



Figura 19 CPUs del laboratorio.

PC Optiplex 7080



Figura 18 PC Optiplex 7080.

Las computadoras mostradas en la Figura 18 son de bajo rendimiento por lo que no suelen ejecutar un sistema operativo actual como lo es como Windows 10, lo que limita el uso de programas necesarios para laboratorio, por otro lado, gama Optiplex está preparada para preparada para usar cualquier programa de simulación y diseño además esta presta para conectividad con los PLC actuales y antiguos.

Normativa aplicada en el documento

De acuerdo con las normas internaciones para el mantenimiento basado en RCM se debe usar la Norma SAE JA1011 que nos brinda criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad, con el objetivo de garantizar que los materiales, productos, procesos o en este caso servicios sean óptimos y seguros. (SAE International, 2009)

Otra de las normas internacionales generalmente usadas en mantenimiento es la (ISO 9.000) sobre calidad que engloba la ISO 9.001, 9002, 9003 9004, la (ISO 31.000) de riesgo, la (ISO 14.000) de medio ambiente y por último la (ISO 50.000) para gestión de la energía. Estas normas nos brindan infamación y nos orientan acerca de los métodos y prácticas de expertos calificados, por ello resulta de suma importancia su aplicación (ISOTOOLS, s. f.).

Conclusiones

Mediante estas herramientas proporcionadas, la Universidad podrá tomar decisiones más acertadas y óptimas para el laboratorio de ingeniería eléctrica, con la planificación, programación y ejecución planteada acorde con el contexto operacional de los equipos.

Dentro del laboratorio se cuenta con módulos y equipos de trabajo dentro de los cuales hay equipos similares o de iguales características en las que las gestiones de mantenimiento son las mismas lo cual permite simplificar la metodología usada.

Como se ha mostrado a lo largo del estudio los equipos y componentes con partes móviles ejemplo de ello los motores, el laboratorio cuenta con 9 motores de los cuales más de la mitad presentaba una falta de lubricación, que, si bien puede parecer algo simple, estas suelen desencadenar una serie de fallos como fricción interna por eje desalineado lo cual puede provocar un contacto a masa y en consecuencia quemar el motor.

Como se mencionó antes hay equipos que se desgastan por el uso que se les brinda, no obstante, también hay equipos a los cuales no se les brinda atención y permanecen sin uso al punto que terminan quedando no operativos ya sea por falta de uso o porque el personal no se encuentra capacitado para usarlo.

Referencias

1. Acuña, J. (2003). Ingeniería de confiabilidad – Editorial Tecnológica de Costa Rica (Primera edición). <https://editorial.tec.ac.cr/catalogo/ingenieria-de-confiabilidad/#gsc.tab=0>
2. Belloví, M. B., Ramos, R. M. O., & SEAT, S.A. (2004). NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE.
3. Cumbre B. AMFE. (s. f.). Análisis modal de fallos y efectos (AMFE). http://evirtual.uaslp.mx/FCQ/farmaciahospitalaria/Documents/amfe_para_correo.pdf
4. Delgado Banguera, M. P. (2014). Diseño y construcción de un módulo didáctico de sistemas de presión constante controlado mediante PLC para el laboratorio de sistema de control automático. Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas.
5. Garrido, S. G. (s. f.). RCM y objetivos. Renovetec. Recuperado 5 de noviembre de 2020, de <http://mantenimiento.renovetec.com/plan-de-mantenimiento/121-rcm-y-sus-objetivos>
6. Grajales, D. M., Sánchez, Y. O., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. Scientia et Technica Año XII, No 30, 2-6.

7. ISOTOOLS. (s. f.). Norma ISO 31000 sobre Gestión de Riesgos. Recuperado 18 de noviembre de 2020, de <https://www.isotools.org/2018/10/15/resumen-nueva-norma-iso-31000-gestion-riesgos/>
8. Pedrique, J., & Mariño, S. (s. f.). Operaciones de mantenimiento y fallas en equipos [Engineering]. Recuperado 5 de noviembre de 2020, de <https://www.slideshare.net/JesusPedrique/operaciones-de-mantenimiento-y-fallas-en-equipos>
9. Quiñones Cortés, J. J. (2012). Implementación de la metodología de confiabilidad análisis de criticidad en los laboratorios clínicos y de inmunología y biología molecular. Universidad Industrial de Santander. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2012/142931.pdf>
10. Renovetec. (2018). Tipos de mantenimiento. www.renovetec.com. <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
11. SAE International. (2009). Society of Automotive Engineers, SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. Warrendale: SAE International, 4.
12. Unitag QR. (s. f.). Código QR. Unitag. Recuperado 17 de noviembre de 2020, de <https://www.unitag.io/es/qrcode/what-is-a-qrcode>
13. Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L., & Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21(1), 125-138. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052013000100011>.