



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

**DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
VERSIÓN 3**

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO E INVENTARIO DE
REPUESTOS DEL ÁREA ELÉCTRICA DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA ALAZÁN, BASADO EN EL ANÁLISIS DE
CRITICIDAD Y MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Magíster en
Gestión de Mantenimiento

Autor: Ing. Santiago Rodolfo Díaz Navas

Director: Ing. Carlos Urgilés González

Cuenca – Ecuador

2020

Optimización del plan de mantenimiento e inventario de repuestos del área eléctrica de la Central Hidroeléctrica Alazán, basado en el Análisis de Criticidad y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

Santiago Rodolfo Díaz Navas

santiagordiagn@gmail.com

Resumen – La central hidroeléctrica Alazán de 6,23MW, pertenece a la Corporación Eléctrica del Ecuador y actualmente registra alrededor de 35000 horas de operación, en las cuales se han ejecutado 8 paradas de planta realizadas sobre la base de los manuales de los fabricantes, experiencia del personal y mantenimiento preventivo por horas de operación. El presente trabajo pretende desarrollar una metodología de optimización del plan de mantenimiento e inventario de repuestos del área eléctrica basada en el análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, partiendo sobre la base de un diagnóstico inicial de los sistemas eléctricos críticos. El principal objetivo es aplicar la metodología de mantenimiento RCM; además, se pretende mejorar la gestión de repuestos de equipos críticos con la aplicación de la metodología de Repuestos Centrados en Confiabilidad RCS. La metodología de estudio se enfoca en el levantamiento de información en sitio, historiales de operación y mantenimiento de los años 2016 al 2019, y parámetros técnicos de los equipos instalados.

Índice de términos – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Repuestos Centrado en Confiabilidad (RCS), Análisis de Criticidad, Plan de mantenimiento, Estructura de Objetos, ARCONEL, CENACE.

Abstract – The Alazán Hydraulic Power Plant of 6,23MW is the property of Ecuador's Electric Corporation and it has nearly 35000 hours of operation; the plant registers eight halts for maintenance based on manufacturer manuals, technical staff experience, and preventive maintenance for hours of operation. This research aims to develop an optimization methodology of the maintenance plan and inventory spare parts of the electrical area, based on criticality analysis and reliability-centered maintenance RCM, starting from a diagnosis of the critical electrical systems on the plant. The principal purpose is to apply the RCM methodology; furthermore, this research has the purpose of improving the spare parts management of critical electrical systems through the methodology of Reliability Centered Spare parts RCS. This methodology focuses on gathering on-site information, historical operated and maintenance reports from the years 2016 to 2019, and technical parameters of the equipment.

Keywords – Reliability Centered Maintenance (RCM), Reliability Centered Spare parts (RCS), Criticality Analysis, Maintenance Plan, Object Structure, ARCONEL, CENACE.

Translated by:


Santiago Díaz Navas



I. INTRODUCCIÓN

La Central Hidroeléctrica Alazán está ubicada en la parroquia Rivera del cantón Azogues, aprovecha las aguas del río Mazar y Sipanche con un caudal nominal de 3.6m³/s, para generar una potencia nominal de 6,23MW, a través una turbina tipo pelton de eje horizontal asociado a un generador síncrono de 24 polos. La energía producida se evacúa por medio de un sistema de transmisión a 69kV hacia el Sistema Nacional Interconectado. La gestión de despacho está regulada y controlada por los Agentes ARCONEL y CENACE respectivamente.

La gestión de repuestos para la ejecución de tareas de mantenimiento en la central Alazán, actualmente está basada en un plan de mantenimiento que parte del contenido de los manuales y experiencia del personal, situación que no ha permitido cumplir con las metas de los indicadores técnicos, esto ha conllevado a plantear la necesidad de implementar nuevas prácticas en la gestión de mantenimiento.

Las políticas de mantenimiento a nivel mundial apuntan a optimizar el uso de recursos, mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, minimizar los riesgos y garantizar el desarrollo sustentable de las comunidades, con responsabilidad social y ambiental; elementos que actualmente definen la competitividad de las organizaciones.

La existencia parcial de planos definitivos y manuales de operación y mantenimiento que no están enfocados en el contexto operacional de la planta, a la fecha, orientan a ejecutar acciones y actividades de mantenimiento considerando criterios que pueden no ser los más adecuados, como por ejemplo: realizar actividades de mantenimiento correctivo en lugar de implementar técnicas de mantenimiento preventivo o predictivo, declarar indisponibilidad por falta de repuestos, entre otros; todo lo anterior describe un escenario que presenta la necesidad de buscar oportunidades de mejora de la gestión de mantenimiento.

Para la ejecución del periodo de mantenimiento semestral programado y declarado ante el CENACE, se consideran las horas de operación de la unidad de generación y las directrices que se obtienen como resultado del estudio de hidrología de la cuenca amazónica, mismo que determina que el periodo de mantenimiento programado deba ser ejecutado en épocas de estiaje debido a que infraestructura de la central Alazán es de pasada.

La falta de un adecuado stock de repuestos para la central está ligado directamente a la disponibilidad y confiabilidad, situación que representa un riesgo inminente y una debilidad explícita de la gestión de operación y mantenimiento de la misma.

El presente estudio tiene como objetivos específicos:

- Aplicar un análisis de criticidad a la estructura de activos eléctricos de la central Alazán para categorizar los equipos críticos.
- Aplicar la estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a los sistemas eléctricos críticos de la central Alazán.
- Aplicar la estrategia de mantenimiento centrado en repuestos (RCS) a los sistemas eléctricos críticos, orientado al costo óptimo de repuestos.

El presente trabajo parte de la recopilación de los datos disponibles y la tabulación de los registros operativos y de mantenimiento de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

A través de una metodología normada se aplicará el análisis de criticidad a fin de priorizar la importancia de los activos y su impacto en la generación de energía eléctrica, luego, sobre la base del levantamiento de información en la Central Alazán y criterio de expertos, se aplicara la metodología RCM para determinar los modos y efectos de fallo, para finalmente determinar y seleccionar las mejores práctica de mantenimiento que serán parte del plan a ser implementado; finalmente se determinará el stock de repuestos optimizado.

II. SITUACIÓN ACTUAL

A. *Levantamiento de la gestión operativa y de despacho de energía de la central hidroeléctrica Alazán*

La central hidroeléctrica Alazán esta categorizada como una central de pasada debido a que provecha las aguas de los ríos Mazar y Sipanche a través de una tecnología de captaciones por medio de azud, el cual permite obtener el caudal aprovechable necesario, sin impedir el cauce normal de los ríos y de esta manera garantizar un caudal ecológico para preservar la flora y la fauna características de la zona.

A partir de la captación, se cuenta con un sistema de conducción a flujo libre el cual recorre aproximadamente una longitud de 4,6km pasando por un sistema de desarenador de doble cámara hasta llegar a un tanque de carga, el cual permite la presión de 2,04MPa, adecuada para el ingreso del caudal hacia la turbina tipo pelton de eje horizontal y permitir la conversión de la energía de salto de agua en energía mecánica y esta a su vez, a través del generador síncrono de polos salientes, convertir la energía mecánica en energía eléctrica.

El proceso de generación en casa de máquinas inicia con el ingreso del caudal necesario desde la tubería de presión hasta la turbina a través de una válvula esférica, el control del caudal de ingreso en la turbina se logra por medio del sistema de regulación de velocidad, mismo que asocia dos inyectores que permiten su movimiento y a la vez son los que controlan la velocidad de rotación del conjunto turbina generador a fin de obtener la potencia activa y frecuencia del generador en estado estable. El sistema de generación consta de un equipo de polos salientes mismos que son alimentados a través del sistema de

excitación para generar tensión inducida en el estator y de esta manera, alcanzar el valor de voltaje nominal de generación de 6,6kV. La tensión generada en los bornes del generador, se sincronizan con el lado de baja tensión del transformador principal y este a su vez, eleva la tensión de 6,6 a 69kV para la transmisión hacia el Sistema Nacional Interconectado, para su distribución.

La lógica de control está configurada para cada sistema, e integran sus parámetros de funcionamiento para ser transmitidos hacia el sistema de control y adquisición de datos SCADA en donde se recopilan las variables de control de la central.

A la fecha, la central hidroeléctrica Alazán ha producido 100,00 GWh de energía, en el periodo de análisis comprendido, desde el año 2015 hasta el primer semestre del año 2020.

TABLA 1
INDICADORES DE GESTIÓN OPERATIVA

AÑO	CONFIABILIDAD		DISPONIBILIDAD	
	PLAN.	OBT.	PLAN.	OBT.
2018	99,60%	82,59%	96,16%	79,35%
2019	83,97%	93,46%	87,72%	82,30%
2020	87,66%	-	79,22%	-

Indicadores de gestión operativa de la central Alazán en los años 2018, 2019 y 2020 (planificados y alcanzados) Fuente: Autor

B. Levantamiento de la gestión de mantenimiento de la central hidroeléctrica Alazán

La central hidroeléctrica Alazán, actualmente cuenta con un plan de mantenimiento preventivo que tiene como objetivo principal el describir las actividades de mantenimiento programado a fin de preservar las condiciones, operativas y de funcionamiento de la unidad de generación como de sus sistemas principales, auxiliares y complementarios.

Para la ejecución de los periodos de mantenimiento programado y declarado ante el CENACE, se han considerado las horas de operación de la unidad de generación y las directrices que se obtienen como resultado del estudio de hidrología de la cuenca amazónica, aspectos que determinan que, el periodo de mantenimiento programado deba ser ejecutado en épocas de estiaje, debido a la infraestructura de la central Alazán; esto sumado a las recomendaciones del fabricante, y la experiencia del personal técnico.

La central hidroeléctrica Alazán inicia su operación el 23 de abril de 2015.

C. Enfoque metodológico de evaluación de la gestión de mantenimiento de la central Alazán

El levantamiento de la situación actual del plan de mantenimiento eléctrico de la central Alazán se realiza con base a un análisis de valoración cuantitativa que permitirá medir la efectividad de la misma, considerando siete aspectos generales. Si bien es cierto, no existe un patrón aplicable a las diferentes

técnicas de evaluación de un modelo de gestión, pero el criterio aplicado se basa en los aspectos que se han venido tomando en cuenta como relevantes dentro de la organización, planificación y ejecución del mantenimiento, los aspectos considerados han sido los siguientes:

1. Personal de mantenimiento
2. Medios técnicos empleados para mantenimiento
3. Mantenimiento Preventivo y Plan de Mantenimiento
4. Organización del mantenimiento correctivo
5. Sistema de Información
6. Stock de repuestos
7. Análisis de resultados de mantenimiento

Con base a los aspectos considerados y con la finalidad de establecer una metodología de análisis adecuada de la gestión de mantenimiento eléctrico que se ejecuta, a la fecha, en la central hidroeléctrica Alazán, se utilizará, como herramienta de análisis, el modelo de auditorías de mantenimiento propuesto por RENOVETEC [1].

Con este enfoque metodológico se propone una ficha de valoración, misma que fue evaluada en cada uno de sus aspectos por el personal que planifica, gestiona y desarrolla las actividades de mantenimiento eléctrico de la central Alazán. A partir de esta ficha se obtienen los valores necesarios que justifican la necesidad de mejorar el plan de mantenimiento actual con la aplicación de nuevas técnicas de mantenimiento.

La calificación para cada pregunta puede tener las siguientes consideraciones:

- Un valor de 3 si la respuesta a la situación planteada es muy favorable,
- Un valor de 2 si la respuesta a la situación planteada es mejorable, aunque aceptable,
- Un valor de 1 si la respuesta a la situación es desfavorable y se hace necesario un cambio, y;
- Un valor de 0 si la respuesta es desalentadora como para considerar la situación crítica.

De la evaluación aplicada, se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 2 y figura 1.

El índice de conformidad global de la gestión de mantenimiento eléctrico de la central hidroeléctrica Alazán se evaluó considerando el puntaje total obtenido sobre el puntaje total posible. Se define que los aspectos evaluados con un índice de conformidad inferior al 60% requieren de la implementación prioritaria de acciones para su mejora de acuerdo con la metodología propuesta por RENOVETEC [1].

A continuación se destacan algunos aspectos importantes que impactarán en la gestión de mantenimiento eléctrico de la Central Alazán:

- Los primeros mantenimientos de la central Alazán, fueron ejecutados sin contar con la estructura de objetos y, para el efecto, su planificación estaba basada en horas de operación, consideraciones de hidrología de la zona y experiencia del personal técnico.
- A partir del año 2019 se empieza a trabajar con un modelo de orden de trabajo (OT) para mantenimiento, gestión que se encuentra en fase de prueba y está sujeta a modificaciones y mejoras.
- Para los fines del presente estudio y en concordancia con los objetivos propuesto, los aspectos que se van a tratar se relacionan con el mantenimiento preventivo y plan de mantenimiento, organización del mantenimiento correctivo y stock de repuestos, aplicando las técnicas de RCM y RCS respectivamente.

Actualmente se carece de un sistema de gestión automatizado de mantenimiento, pero a futuro se planifica la utilización de la herramienta IFS (INDUSTRIAL AND FINANCIAL SYSTEM) para la gestión de activos, mantenimiento y repuestos, constituyéndose en un facilitador de la nueva estrategia de mantenimiento planteada en el presente trabajo.

TABLA 2
RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETRO EVALUADO	PUNTAJE MÁXIMO	PUNTAJE OBTENIDO	ÍNDICE DE CONFORMIDAD
1. PERSONAL DE MANTENIMIENTO	84	52	62%
2. MEDIOS TÉCNICOS EMPLEADOS POR MANTENIMIENTO	42	29	69%
3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PLAN DE MANTENIMIENTO	21	10	48%
4. ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO	51	25	49%
5. SISTEMA DE INFORMACIÓN	36	10	28%
6. STOCK DE REPUESTOS	36	8	22%
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MANTENIMIENTO	45	33	73%

Cuadro de resultados obtenidos de la evaluación a la gestión de mantenimiento de la central hidroeléctrica Alazán [2]

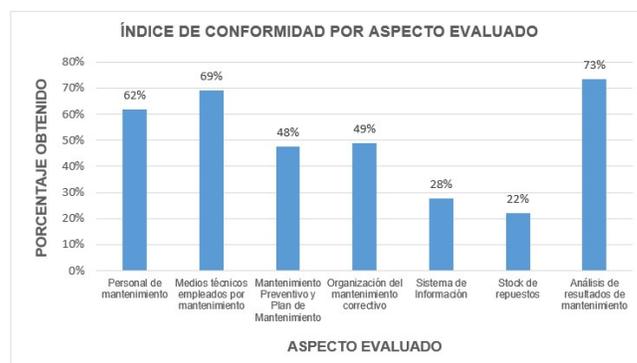


Figura 1. Índices de Conformidad por aspecto evaluado Fuente: Autor

III. ESTRUCTURA DE OBJETOS Y ANALISIS DE CRITICIDAD DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS DE LA CENTRAL ALAZÁN

A. Estructura de objetos

Para establecer la estructura de objetos de la central hidroeléctrica Alazán, se consideran los siguientes aspectos:

- La Corporación Eléctrica del Ecuador tiene definido el modelo de codificación de los activos para sus centrales de generación y sistema de transmisión, establecido por el Comité Asesor Interno (CAI) de CELEC EP.
- Los activos considerados dentro de este análisis corresponden a los equipos principales y auxiliares que se encuentran en Casa de Máquinas de la central Alazán.

Los niveles de categorización de sistemas y equipos para establecer la estructura de objetos, definen tanto su codificación, como su ubicación.

TABLA 3
NIVELES DE ESTRUCTURA DE OBJETOS

NIVEL	DESCRIPCIÓN
1	Corporación
2	Unidad de Negocio
3	Zona
4	Actividad
5	Instalación
6	Infraestructura
7	Sistema
8	Subsistema
9	Equipo
10	Componente

Niveles establecidos por el Comité Asesor Interno CAI de CELEC Matriz para la estructura de objetos de sus centrales de generación [3]

De la categorización expuesta y con base al contexto operativo de la central hidroeléctrica Alazán, se describe y codifica los sistemas principales, auxiliares y complementarios, cada uno

con sus diferentes subsistemas, equipos y componentes; obteniéndose la estructura de objetos sujetos a mantenimiento.

B. Historial de salidas de servicio de la central Alazán

Para iniciar el análisis de criticidad y luego de haber obtenido la estructura de objetos de la central Alazán, se hace el levantamiento del historial de salidas por falla o por mantenimiento. Los registros de salidas de los años 2017, 2018 y 2019 permiten contar con el antecedente para el análisis.

Para el presente caso de estudio, se tomará como referencia las salidas por eventos propios o categorizados como Mantenimiento correctivo no programado MCNP, debido a que éstos comprenden las fallas internas de la central.

TABLA 4
NIVELES DE ESTRUCTURA DE OBJETOS

Año	Salidas por MCNP
2017	15
2018	26
2019	20

Registro de salidas por mantenimiento correctivo no programado Fuente: CELEC EP Hidroazogues

C. Análisis de Criticidad

Para el análisis de criticidad y modos de fallo de los equipos eléctricos de la central hidroeléctrica Alazán, se tomará en cuenta los sistemas que se asocian directamente a la línea de producción de energía ubicados en casa de máquinas, debido a que los subsistemas de captación y tanque de carga se gestionarán con otras técnicas de mantenimiento ya que su intervención tiene baja incidencia respecto a los sistemas principales de la central.

Debido a que el análisis de criticidad es una metodología que permite establecer jerarquías entre instalaciones, sistemas, equipos y elementos, al evaluar de manera cuantitativa los eventos y fallas, se podrá determinar el riesgo [2] como resultado del producto de la probabilidad de fallas por la severidad de su ocurrencia.

La probabilidad de falla está directamente asociada a la frecuencia con la que ocurre un evento y la consecuencia se relaciona con los aspectos de Seguridad y Salud, Medio Ambiente, Pérdidas de Producción y Costos de Mantenimiento.

Matemáticamente el riesgo se define como:

$$R(t) = P(t)xC$$

Donde:

R(t): Riesgo

P(t): Probabilidad de falla

C: Consecuencias

Metodología para el análisis de criticidad de los sistemas eléctricos de la central Alazán

Para determinar la criticidad de los sistemas eléctricos de la central Alazán, se partirá desde una matriz de probabilidad de falla por consecuencia, la cual estará sujeta al análisis de diferentes rangos asociados a estos dos parámetros que definen el riesgo.

La probabilidad de falla, en términos de mantenimiento, puede ser definida como el producto de la ocurrencia por la exposición, esto quiere decir; que la ocurrencia estaría asociada a la tasa de falla, y la exposición, al tiempo en el que un activo está sujeto al riesgo que interfiera en su funcionamiento.

De esta manera, y para el objeto del presente análisis, el riesgo de falla de un activo en la central Alazán estaría definido por la ecuación propuesta por William T. Fine [4]:

$$\text{Riesgo} = \text{Ocurrencia} \times \text{Exposición} \times \text{Consecuencia}$$

Matemáticamente, la Probabilidad de Falla se define como el producto de la Ocurrencia por la Exposición. En mantenimiento la Ocurrencia se define como la frecuencia con la que se suscita un determinado evento y se relaciona con la tasa de fallos λ ; y la Exposición corresponde al tiempo en el que el activo se encuentra expuesto al riesgo que pueda afectar la función del mismo.

El riesgo se asocia al Índice de Criticidad de un activo. La fórmula para esta relación es:

$$CrI = \text{Riesgo} = PrF * \sum Co = Oc * Exp * \sum Co$$

Donde:

CrI: Índice de Criticidad

PrF: Probabilidad de Falla

Co: Consecuencias

Oc: Ocurrencia

Exp: Exposición

Los rangos definidos para la evaluación de la probabilidad de falla son los siguientes:

TABLA 5
CALIFICACIÓN DE PROBABILIDAD DE FALLA

PROBABILIDAD				
	OCURRENCIA		EXPOSICIÓN	
Probable	30 DÍAS \geq MTBF 12 o más fallas por año	10	20 – 24 h	10
Ocasional	90 \geq MTBF > 30 DÍAS de 4 a 11 fallas por año	8	15 – 20 h	8
Rara	180 \geq MTBF > 90 DÍAS de 2 a 3 fallas por año	5	10 – 15 h	6
Remota	360 > MTBF \geq 180 DÍAS 1 falla por año	3	5 – 10 h	4
Mínima	MTBF > 360 DÍAS menos de una falla por año	1	<5h	2

Rangos definidos para la ocurrencia y exposición, método W. T. Fine [4]

La ocurrencia y exposición se valoran con un máximo de 10, con lo que la máxima probabilidad alcanza el valor del 100%, con un valor ponderado de 100.

Para las consecuencias, como se indicó anteriormente se definen los siguientes aspectos:

- Seguridad y Salud
- Medio Ambiente
- Costos de Mantenimiento
- Pérdida de Producción

Para la asignación de los rangos en los aspectos antes indicados, se realizan las siguientes consideraciones:

- Los impactos relacionados a la seguridad y salud y al medio ambiente se consideran de mayor criticidad que los impactos relacionados con los costos de mantenimiento y pérdida de producción.
- Los impactos relacionados con la pérdida de producción se consideran de mayor criticidad que los relacionados a los costos de mantenimiento.
- La sumatoria de las ponderaciones de las consecuencias tendrá un resultado máximo de 100.

En consecuencia, la matriz de evaluación de criticidad queda definida con la aplicación de los parámetros considerados en las tablas V y VI.

TABLA 6
CALIFICACIÓN DE CONSECUENCIA DE FALLA

CONSECUENCIAS						
SEGURIDAD Y SALUD	MEDIO AMBIENTE	PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN		COSTO DE MANTENIMIENTO		
Muerte	30 Daños irreversibles al ambiente y que violan leyes ambientales	30	80% < PDE ≤ 100%	25	mayor a \$ 7.001	15
Accidente con pérdida de tiempo	15 Daños irreversibles al ambiente y pero que no violan leyes ambientales	15	60% < PDE ≤ 80%	12	\$ 5.001 - \$ 7.000	8
Lesión sin pérdida de tiempo	8 Daños ambientales reversibles o mitigables	8	40% < PDE ≤ 60%	6	\$ 1.001 - \$ 5.000	4
Incidente	4 Mínimo daño al ambiente	4	20% < PDE ≤ 40%	3	\$ 500 - \$ 1.000	2
Condición subestándar	2 Sin daños ambientales	2	0% ≤ PDE ≤ 20%	2	menor a \$ 500	1

Rangos definidos para las consecuencias, basados en el método de W. T. Fine. Fuente: Autor

Criterio de Criticidad

La calificación de la jerarquización de equipos críticos estará valorada y categorizada de la siguiente manera:

TABLA 7
NIVELES DE CRITICIDAD

CRÍTICO	Cr > 1000
IMPORTANTE	100 < Cr ≤ 1000
NORMAL	Cr ≤ 100

Definición de niveles de criticidad de sistemas. Fuente: Autor

Con los criterios expuestos, se procede a realizar la calificación de sistemas críticos de la central Alazán, con la finalidad de obtener la matriz de criticidad.

Con los resultados obtenidos, se elabora una ficha de categorización del estado de los sistemas y de conformidad a la tabla 8, y se concluye que los sistemas en la categoría de “Importante” y “Normal”, sean excluidos de la aplicación de la técnica RCM ya que para estos sistemas se pretende seguir trabajando con las técnicas de mantenimiento tradicional que se lleva a cabo en la gestión actual de mantenimiento de la central Alazán.

TABLA 8
RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

SISTEMA	INDICE DE CRITICIDAD	CATEG.	ESTRATEGIA DE MTO
GENERADOR ELECTRICO 01	5000	CRITICO	Mantenimiento centrado en confiabilidad
LEVANTAMIENTO GRUPO ROTATIVO	1260	CRITICO	
REGULADOR DE VELOCIDAD	2240	CRITICO	
VALVULA PRINCIPAL	1890	CRITICO	
TURBINA HIDRAULICA	3000	CRITICO	
EXITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	2600	CRITICO	
TRANSFORMADOR	2550	CRITICO	
LINEA DE AGUA ENFRIAMIENTO CASA MAQUINAS	540	IMPORTANTE	Otras técnicas de gestión de mantenimiento preventivo y predictivo
EQUIPAMIENTO DE SUPERVISION Y CONTROL SCADA	288	IMPORTANTE	
EQUIPAMIENTO DE PROTECCION, CONTROL Y MDC 01	104	IMPORTANTE	
PUENTE GRUA CASA DE MAQUINAS	110	IMPORTANTE	
CARGADOR DE BATERIAS Y BANCO DE CASA DE MAQUINAS	264	IMPORTANTE	
EQUIPAMIENTO PRIMARIO	700	IMPORTANTE	
LINEA DE AIRE COMPRIMIDO SERVICIOS	32	NORMAL	
LINEA DE DESAGUE CASA DE MAQUINAS	14	NORMAL	
AUXILIARES ELECTRICOS DE UNIDAD	44	NORMAL	
GRUPO ELECTROGENO ALAZAN	68	NORMAL	
LINEA DE AGUA CONTRA INCENDIOS DE CMQ	98	NORMAL	
CENTRO DE CARGA GENERAL DE CASA DE MAQUINAS	30	NORMAL	

Estrategias a ser aplicadas para la optimización del plan de mantenimiento en los sistemas de la casa de máquinas de la central Alazán por criticidad.

Fuente: Autor

IV. APLICACIÓN DE RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD) PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ALAZÁN

A. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM (Reliability Centred Maintenance) es un procedimiento utilizado para decidir lo que se debe hacer para asegurar que un activo físico, sistema o proceso continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual[5].

El RCM parte del análisis de la función que desempeña un sistema, equipo o componente dentro del contexto operacional

y emplea tareas proactivas para eliminar los eventos que pueden causar las fallas, empleando la técnica de evaluación de los efectos de una falla y las consecuencias que este pueda causar, a fin de proponer tareas proactivas de mantenimiento con base a los resultados del análisis de criticidad.

B. Siete preguntas del RCM

La aplicación de la metodología de RCM responde a 7 preguntas básicas en el contexto operacional del sistema analizado [6]:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento del activo en su contexto operacional actual (contexto + funciones)?
2. ¿De qué maneras puede fallar en cumplir sus funciones (fallos funcionales)?
3. ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional (modos de falla)?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo (efectos del fallo)?
5. ¿Qué importancia tiene cada fallo (consecuencias del fallo)?
6. ¿Qué se debe hacer para predecir o prevenir cada falla (tareas proactivas e intervalos de tareas)?
7. ¿Qué se debe hacer si no se puede encontrar una tarea proactiva adecuada (acciones predeterminadas)?

Con base a las preguntas planteadas, se determina un Diagrama de aplicación de RCM para la central hidroeléctrica Alazán, presentado en la figura 2.

Con el diagrama de aplicación RCM se desarrolla la metodología de aplicación para el análisis del contexto operativo de la central Alazán y su aplicación a los sistemas críticos.

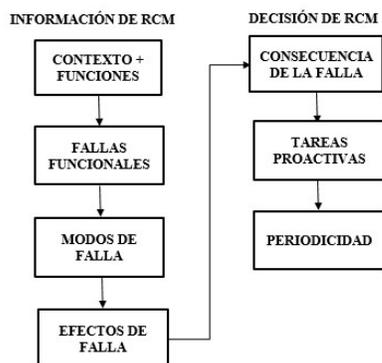


Figura 2 Diagrama de aplicación de RCM en la central Alazán. Fuente: Autor

C. Matriz de RCM aplicado para el análisis de los sistemas eléctricos de la central Alazán

La matriz de aplicación de la metodología de RCM para los sistemas eléctricos de la central Alazán, divide el proceso de análisis a dos grupos generales;

Información de RCM: Está determinado por la información previa dentro de la metodología del RCM, este grupo organiza la información y determinación del contexto operacional y funciones de los activos, las fallas funcionales, modos y efectos del fallo.

TABLA 9
INFORMACIÓN DE RCM

SISTEMA	INFORMACIÓN DE RCM			
	FUNCIÓN + CONTEXTO	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DEL FALLO
GENERADOR ELECTRICICO 01	Generar energía eléctrica con un nivel de voltaje de línea de 6,6kV (+5%), a potencia nominal de 6,23MW, frecuencia 60Hz y corriente a carga máxima de 600A, a una velocidad de giro de 300rpm	Los valores de generación no tienen coherencia con los rangos de valores nominales	Bornes de los transformadores de medida flojos Daño en el controlador de temperatura Falsa señal en el IED de protección	Pérdida de señal o señal flotante de referencia de voltaje generado y corriente de carga Activación espontánea de la alarma del controlador Disparos de la unidad por falsa señal
	Activar el sistema de bombeo a alta presión cuando la velocidad de la máquina alcance el 20% de la velocidad nominal en la secuencia de parada.	Sistema de control no envía señal de activación del circuito de alta presión del sistema de levantamiento del grupo rotativo	Contactos en mal estado o sucios	Incremento de temperatura en la parada
	Activar el freno de mecánico en un valor de 20Hz, en la secuencia de parada, en un tiempo menor a 60s.	La parada de la máquina no cumple con el tiempo de la secuencia de frenado	No se envía la señal de activación del freno por contra chorro No se envía la señal de activación del freno mecánico	Incremento en el tiempo de parada Incremento en el tiempo de parada
	Recibir en los anillos colectores, un voltaje a plena carga de 117V con una corriente de 362A, desde el sistema de excitación, el cual permite la inducción de fem para obtener en la barra del estator un voltaje de línea de 6,6kV con una corriente a carga máxima de 600A.	No se obtiene tensión inducida en la barra del estator	No existe tensión de excitación en los anillos colectores Terminales del rotor flojos Terminales de la barra del estator flojos	Ausencia de voltaje en la barra del estator Oscilaciones de voltaje inducido Pérdida de voltaje en al menos una fase
	Permitir el giro del rotor con vibraciones inferiores a 50 micras y temperatura inferior a 75°C	No se da la señal de alarma o disparo cuando la temperatura del generador excede los 75°	Controlador de temperatura no responde Contactos en mal estado o sucios	Temperatura del generador sin control de alarmas ni señales de disparo Falsa respuesta de señales de alarma y disparo

			Sensores de vibración en mal estado	Falsa señal de medida de vibraciones
	Asegurar la conexión a tierra del centro estrella del devanado del estator del generador	Apertura del centro estrella del devanado estator del generador	Rotura del seccionador de puesta a tierra	Sobrevoltaje por resonancia electromagnética
			Barra de neutro floja	
			Daño en el transformador de alta impedancia	
LEVANTAMIENTO GRUPO ROTATIVO	Bombear aceite lubricante en el circuito de alta presión para los procesos de arranque y parada a una presión de 10MPa y un caudal de 15l/min	No permite el bombeo del circuito de alta presión	Falta de alimentación eléctrica	Falta de suministro de aceite en secuencia de arranque o parada
			Conexiones flojas en el motor	Falta de voltaje en una de las fases del motor
			Daño en el motor de la bomba HP	No permite la actuación de la bomba
			Problemas en el sistema de control y fuerza	Sistema de bombeo no actúa
			Transmisor de presión no da señal	Falta de señal de actuación del motor
			Sensor de temperatura no da señal	Falta de señal de actuación del motor
			No actúa el sistema redundante	Falta de suministro de aceite en secuencia de arranque o parada
	Bombear aceite lubricante en el circuito de baja presión para el proceso de operación continúa de la unidad, a una presión de entre 0,2 y 0,4 Mpa con un caudal de 200l/min.	No permite el bombeo del circuito de baja presión	Falta de alimentación eléctrica	Falta de suministro de aceite en operación continua
			Conexiones flojas en el motor	Falta de voltaje en una de las fases del motor
			Daño en el motor de la bomba HP	No permite la actuación de la bomba
			Problemas en el sistema de control y fuerza	Sistema de bombeo no actúa
			Transmisor de presión no da señal	Falta de señal de actuación del motor
			Sensor de temperatura no da señal	Falta de señal de actuación del motor
			No actúa el sistema redundante	Falta de suministro de aceite en operación continua
REGULADOR DE VELOCIDAD	Mantener la velocidad a 300rpm y la frecuencia a 60Hz, mediante el control de los inyectores	Velocidad y frecuencia inestables	Sensores de posición no envían señal de retroalimentación	Actuación errónea de los inyectores
			Daño en el transductor de señales de posición y velocidad	Actuación errónea de los inyectores
			Daño en el PLC	Pérdida de comunicación y control de los inyectores
			Sensor de velocidad de giro no envía señal de retroalimentación	Daño en el sensor o cableado

	Permitir la apertura y cierre de los inyectores para mantener la velocidad a 300rpm y frecuencia a 60Hz	Pérdida de seguimiento en toma de carga por variación de frecuencia (estatismo)	Avería en motores paso a paso	Pérdida de control de los inyectores
	Mantener la presión de actuación de los inyectores entre 2,7 y 4 Mpa	Falta de presión en los inyectores	Falta de alimentación eléctrica	Falta de suministro de aceite en los inyectores
			Conexiones flojas en el motor	Falta de voltaje en una de las fases del motor
			Daño en el motor de la bomba	No permite la actuación de la bomba
			Transmisor de presión no da señal	Desconexión del circuito de fuerza
			Sensor de temperatura no da señal	Desconexión del circuito de fuerza
			No actúa el sistema redundante	Falta de suministro de aceite en los inyectores
			Problemas en el sistema de control y fuerza	Sistema de bombeo no actúa
VALVULA PRINCIPAL	Permitir la apertura y cierre de la válvula	Válvula no actúa	Microswitch no envía señal de posición de apertura o cierre de la válvula	Válvula no permite la apertura
			Mal funcionamiento del sensor diferencial de presión	No existe equilibrio de presiones aguas arriba y aguas debajo de la válvula
			Daño en el PLC	Pérdida de comunicación y control
	Mantener la presión de contrapeso entre 12,5 y 14 MPa	Sistema no mantiene la presión nominal requerida	Falta de alimentación eléctrica en motores	Falta de suministro de aceite en el contrapeso
			Conexiones flojas en el motor	Falta de voltaje en una de las fases del motor
			Daño en el motor de la bomba	No permite la actuación de la bomba
			No actúa el sistema redundante	Falta de suministro de aceite en el contrapeso
			Problemas en el sistema de control y fuerza	Sistema de bombeo no actúa
TURBINA HIDRÁULICA	Activar el freno de contra chorro cuando el giro de la máquina alcance un valor de frecuencia de 45Hz, en la secuencia de parada, a una presión de 2MPa.	La parada de la máquina no cumple con el tiempo de la secuencia de frenado	La electroválvula del freno por contra chorro no se abre	Incremento en el tiempo de parada
		No se completan las precondiciones para el arranque	La electroválvula del freno por contra chorro no se cierra luego de actuado	Precondiciones de arranque incompletas
EXITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	Mantener la alimentación continua en el	Falta de suministro de	Escobillas desgastadas	Pérdida de excitación en el rotor

	rotor del generador a valores no superiores a 127V y 600A	corriente continua al rotor	Daño en el transformador de excitación	Pérdida de excitación en el rotor
			Daño en el control del interruptor de campo	Interruptor de campo se abre
			Conexiones flojas en el interruptor de fuerza	Pérdida de excitación en el rotor
	Convertir el voltaje del transformador de excitación en voltaje cc de valores no superiores a 127V - 600A	No permite obtener voltaje continuo para alimentar el devanado del rotor	Daño en los SCR	Pérdida de excitación en el rotor
			Daño en la tarjeta de control de AVR	Voltajes de suministro no deseados
			Daño de la impedancia de excitación	Corrientes elevadas inducidas al estator
TRANSFORMADOR	Transformar el nivel de voltaje de 6,6kV a 69kV para el despacho de energía	No permite la transformación de los niveles de voltaje	Daño en los devanados	Cortocircuito interno del transformador
			Sobrevoltaje por descargas	Calentamiento de partes internas del transformador Presencia de gases en el interior
			Rotura de los descargadores	Descargas a tierra
			Terminales de bushings y cables flojos	Sobrecalentamiento de papel aislante y aceite dieléctrico
			Intercambiador de tomas en mal estado	No permite la regulación de voltaje
			Mala calidad de aceite dieléctrico	Disminución de la rigidez dieléctrica y pérdida de propiedades del aceite
			Celda de alimentación indisponible	Sobrecalentamiento del transformador
	Permitir la alimentación eléctrica para los equipos asociados al transformador	Falta de suministro de energía al sistema de control del transformador		
	Permitir el enfriamiento forzado del transformador	Sistema no permite el enfriamiento forzado del transformador	Daño en los ventiladores	Sobrecalentamiento del transformador
			Daño en el circuito de control e instrumentación	Sobrecalentamiento del transformador
	Proteger al transformador	Transformador desprotegido por indisponibilidad de instrumentación y protección	Daño en la válvula de alivio de presión	Pérdida de control de presión
			Daño en las culas de medición de temperatura	Pérdida de control de temperatura
			Daño en el relé Buchholz	Desconexión del transformador
			Daño en el relé de presión súbita	Aumento de presión no detectado
			Daño en los medidores de temperatura de aceite y devanados	Sobrecalentamiento del transformador
Pérdida de lectura de voltajes y corrientes en TC y TP			Ausencia de medida de parámetros de referencia	
Bajo nivel en el tanque conservador de aceite			Activación espontánea del relé de Buchholz	
Mantener el buen estado operativo del transformador	No mantiene el estado operativo, poniendo en riesgo la confiabilidad del transformador	Oxidación de tuberías cuba y partes metálicas	Perforaciones y desprendimientos	

Estructura de información de RCM aplicado al contexto operativo de los sistemas eléctricos de la central Alazán. Fuente: Autor

Decisión de RCM: Este grupo está determinado por el análisis de las consecuencias de fallo, las tareas proactivas para prevenir o eliminar los modos de fallo y las tareas correctivas en caso de ser necesario.

TABLA 10
DECISIÓN DE RCM

SISTEMA	DECISIÓN DE RCM			
	MONITOREO DE CONDICIÓN		TAREA PREVENTIVA	
	ACTIVIDAD	FREC.	ACTIVIDAD	FREC.
GENERADOR ELECTRICO 01			Ajuste periódico de terminales	Anual
	Prueba de activación del controlador con simulación de temperatura	Anual	Comprobación de ajuste de rangos de alarma y disparo Limpieza de contactos	Anual
	Prueba con equipo de inyección	Anual	Comprobación de ajuste de rangos de alarma y disparo Limpieza de contactos	Anual
	Simulación de secuencia de parada desde el regulador de velocidad	Anual	Inspección de estado de la electroválvula Ajuste de terminales y limpieza	Anual
	Simulación de secuencia de parada desde el regulador de velocidad	Anual	Inspección de estado del microswitch del freno Ajuste de terminales y limpieza	Anual
	Termografía	Semestral	Medición de resistencia de aislamiento Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Anual
	Termografía	Semestral	Medición de resistencia de aislamiento Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Anual
	Termografía en el generador	Semestral	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Semestral
	Termografía en el generador	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Termografía	Semestral	Inspección visual	Semanal
	Termografía	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Medición de temperatura por IR	Diario	Ajuste de terminales y cuñas Limpieza de contactos	Semestral
	Medición de resistencia de aislamiento	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Trimestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral
	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Trimestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral
Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Trimestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral	
REGULADOR DE VELOCIDAD	Simulación de secuencia de parada desde el regulador de velocidad	Anual	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Simulación de secuencia de parada desde el regulador de velocidad	Anual	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Simulación de lógica de programación	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral

	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral
	Simulación de secuencia de parada desde el regulador de velocidad	Añual	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Calibración de cero eléctrico y mecánico	Añual	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Trimestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral
	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Trimestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral
VALVULA PRINCIPAL	Calibración de posiciones de apertura y cierre	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Añual	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
	Simulación de lógica de programación	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Trimestral
	Medición de resistencia de aislamiento	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos Inspección de funcionamiento	Semestral
EXCITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	Termografía en escobillas y anillos	Semestral	Medición de desgaste de escobillas Limpieza	Trimestral
	Medición de ángulo de disparo Medición de resistencia entre compuerta y fuente	Semestral	Limpieza de contactos Ajuste de terminales	Añual
	Medición de impedancia de excitación	Semestral	Limpieza de contactos Ajuste de terminales	Semestral
TRANSFORMADOR	Análisis de aceite dieléctrico: Sulfuros corrosivos Furanos Rigidez dieléctrica	Semestral	Pruebas de rutina: TTR Resistencia de aislamiento Factor de potencia Resistencia de devanados	Añual
	Análisis de aceite dieléctrico (Cromatografía de Gases)	Semestral	Pruebas de rutina: TTR Resistencia de aislamiento Factor de potencia Resistencia de devanados	Añual
	Termografía en los descargadores	Trimestral	Medición de resistencia de aislamiento	Trimestral
	Termografía en los bushings	Semestral	Ajuste de terminales Limpieza de contactos	Semestral
			Inspección de funcionamiento sin carga Limpieza	Semestral
	Análisis físico químico del aceite dieléctrico	Semestral	Microfiltrado y tratamiento térmico	En caso de requerir
	Medición de resistencia de aislamiento	Semestral	Limpieza Ajuste de terminales	Trimestral
	Prueba de respuesta con calibrador de procesos	Trimestral	Inspección física Ajuste Limpieza	Trimestral
			Prueba de activación de contactos Comprobación de envío de señales	Añual
			Inspección de estado del medidor de temperatura	Semestral
	Prueba de inyección de corrientes y voltajes	Bianual	Inspección física Ajuste Limpieza	Trimestral
			Inspección de nivel de tanque	Diario
			Inspección de tuberías y partes metálicas sujetas a oxidación	Semanal

Estructura de decisión de RCM aplicado al contexto operativo de los sistemas eléctricos de la central Alazán. Fuente: Autor

V. APLICACIÓN DE RCS (REPUESTOS CENTRADOS EN CONFIABILIDAD) PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ALAZÁN

A. Repuestos Centrados en Confiabilidad RCS

La metodología de Repuestos Centrados en Confiabilidad o RCS (Reliability Centered Spares) está basado en la gestión de repuestos críticos con base a la aplicación de la técnica de RCM en una planta, esta técnica no está regida solamente por las recomendaciones de los fabricantes sino por el análisis de criticidad de los equipos dentro de su contexto operacional.

El RCS se puede asociar como un complemento del RCM para la optimización del stock de repuestos a fin de facilitar la ejecución de las tareas de mantenimiento propuestas.

En la figura 4, se asocia la metodología de RCS en la técnica de RCM.

B. Preguntas asociadas a la aplicación de RCS

Para la aplicación de RCS se debe asegurar que los requerimientos de mantenimiento obtenidos en el RCM estén claros.

La aplicación de la metodología del RCS debe responder a las siguientes preguntas [7]:

1. ¿Cuáles son los requerimientos de mantenimiento y operación para el equipo o sistema crítico?
2. ¿Qué pasa si no hay repuestos disponibles?
3. ¿Se pueden predecir los repuestos requeridos?
4. ¿Cuál es el inventario de repuestos necesario?

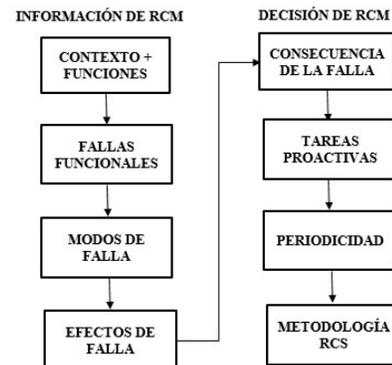


Figura 4. Aplicación del RCS como complemento de RCM. Fuente: Autor

La aplicación de la metodología de RCS para los sistemas eléctricos de la central hidroeléctrica Alazán, responden a la pregunta número 1 con la obtención de resultados de la aplicación del RCM en la optimización del plan de mantenimiento.

Las siguientes preguntas determinarán los cambios que se deben tomar en la gestión de repuestos e inventario de la central para una adecuada aplicación de RCS.

De la literatura técnica consultada para la realización del presente trabajo, se destaca que la aplicación de la metodología de RCS debe garantizar los siguientes requerimientos:

- Mantener la productividad y efectividad del contexto operacional.
- Mantener la disponibilidad y confiabilidad de la central bajo las metas establecidas.
- Garantizar la mantenibilidad de los sistemas con la disposición de repuestos requeridos.

Establecer un beneficio económico entre el costo de producción y el costo de reposición de elementos fallados.

La técnica de RCM aplicada al plan de mantenimiento de la central Alazán determina las actividades a ejecutar para minimizar las tareas correctivas y garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los activos. En este caso, la aplicación de la metodología RCS está enfocada a disponer de repuestos necesarios para cumplir los requerimientos planteados; esto quiere decir que, resulta beneficioso contar con un stock de repuestos adecuados para evitar que los activos se declaren en indisponibilidad por tareas correctivas.

Muchos de los errores que se cometen en la gestión de repuestos e inventarios al no aplicar correctamente la metodología de RCS dan lugar a que se mantenga en bodega repuestos que talvez no sean utilizado en toda la vida útil de un activo; por esta razón la metodología de RCS se aplica como complemento directo del RCM y análisis de criticidad.

Con base a los resultados obtenidos en la aplicación de RCM para la central Alazán, la estructura de objeto y las tareas de mantenimiento propuestas, se presenta el listado óptimo de repuestos bajo las consideraciones de la metodología de RCS en la TABLA XI.

VI. RESULTADOS

Optimización del Plan de mantenimiento.

De los resultados obtenidos en el Análisis de Criticidad se destaca que existen 7 sistemas eléctricos categorizados como “CRITICOS”, a los cuales se aplicó RCM. Para los sistemas que se encuentran dentro de la categoría de “IMPORTANTE” y “NORMAL” se aplicarán las técnicas de mantenimiento tradicionales.

La ficha de información y decisión de RCM, refleja el análisis de las funciones de los sistemas dentro del contexto operativo de la central Alazán, lo que permite determinar los modos y efectos de falla y establecer, en consecuencia, las tareas de mantenimiento a desarrollar.

La aplicación de RCM a los sistemas eléctricos críticos viabiliza el camino para la aplicación de la gestión centrada en repuestos RCS, la cual determina el listado óptimo de repuestos con los que debe contar para cada sistema crítico a fin de garantizar la confiabilidad de los mismos.

VII. CONCLUSIONES

La matriz de criticidad ha determinado de manera sistemática y efectiva la jerarquización de los sistemas eléctricos críticos, asociados a la línea de producción de la central hidroeléctrica Alazán. El presente trabajo se apega completamente a la realidad de la central debido a que, por el historial de fallas presentadas en años anteriores, los equipos categorizados como críticos han sido los que más han impactado en la disponibilidad de la central.

El análisis de criticidad en los sistemas eléctricos de la central Alazán, permiten determinar las prioridades para la aplicación de las técnicas de mantenimiento más adecuadas, en este caso de estudio, permite determinar los equipos sujetos a mantenimiento centrado en confiabilidad.

La aplicación de la técnica de mantenimiento RCM y metodología de gestión de repuestos RCS en los subsistemas eléctricos críticos, optimiza el plan de mantenimiento de la central Alazán, para lo cual se creará una ficha de mantenimiento de cada subsistema como resultado del presente trabajo, lo cual permitirá mejorar los parámetros de disponibilidad y confiabilidad.

TABLA 11
APLICACIÓN DE RCS

SISTEMA	DESCRIPCIÓN DE REPUESTO	UNIDAD	CANTIDAD
GENERADOR ELECTRICO01	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	u	1
	TRANSFORMADOR DE POTENCIAL	u	1
	FRENO MECANICO	u	1
	ANILLOS COLECTORES	u	2
	INDICADOR DE TEMPERATURA DEL GENERADOR	u	1
	SENSOR DE VIBRACION DEL GENERADOR	u	2
	BANCO DE RESISTENCIAS	u	1
LEVANTAMIENTO GRUPO ROTATIVO	MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO	u	1
	TRANSDUCTORES DE PRESIÓN	u	2
	SENSOR DE FLUJO	u	2
	INDICADORES DE PRESIÓN	u	2
REGULADOR DE VELOCIDAD	TRANSDUCTOR DE VELOCIDAD	u	1
	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN	u	2
	SENSOR DE POSICIÓN RESISTIVO	u	2
	SENSOR DE TEMPERATURA		
	FUENTE DE VOLTAJE 12-24Vcc	u	1
	MOTOR PASO A PASO Y TARJETA DE CONFIGURACIÓN	u	1
	MICROSWITCH DE LIMITE	u	4
	MICRORELE DE SEÑAL	u	4
	MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO	u	1
	ELECTROVÁLVULA DE ACCIÓN HIDRÁULICA PARA FRENO	u	1
ELECTROVÁLVULA DE ACCIÓN HIDRÁULICA PARA INYECTOR Y DEFLECTOR	u	1	

	PLC	u	1
	TARJETA DE CONTROL Y TRANSDUCTOR	u	1
VALVULA PRINCIPAL	INDICADORES DE PRESION	u	1
	SWITCH DE PRESION DIFERENCIAL	u	1
	MICROSWITCH DE LIMITE	u	2
	MICRORELE DE SEÑAL	u	4
	MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO	u	1
	PLC	u	1
TURBINA HIDRAULICA	ELECTROVÁLVULA ACCIONADA POR MOTOR DC	u	1
EXITATRIZ Y REGULADOR DE VOLTAJE	ESCOBILLA Y PORTA ESCOBILLA	u	8
	INTERRUPTOR DE CAMPO DE LA EXCITATRIZ	u	1
	BARRAS CORRIENTE CONTINUA EXCITATRIZ	u	2
	SECCIONADOR DE CAMPO	u	1
	CABLE XLPE 10kV - 250MCM	m	50
	PUNTA TERMINAL 10kV - 250MCM	juego	2
	BANCO DE SCR DE LA EXCITATRIZ	juego	1
	VENTILADOR DE LA EXCITATRIZ	u	1
	INTERRUPTOR DE DESEXCITACION	u	1
	TARJETA DE REGULACIÓN DE VOLTAJE	u	1
TRANSFORMADOR	DESCARGADOR DE SOBRE VOLTAJE 7,5kV	u	3
	VENTILADOR	u	1
	CONMUTADOR DE TOMAS	u	1
	BUSHING DE CONEXIÓN A NEUTRO	u	1
	BUSHING DE ALTA TENSION	u	1
	BUSHING DE BAJA TENSION	u	1
	RELE BUCHHOLZ	u	1
	RADIADOR	u	1
	TERMOMETRO DE CUPLA	u	1
	RELÉ DE PRESIÓN SÚBITA	u	1
	INDICADOR DE NIVEL DE ACEITE	u	1
	INDICADOR DE TEMPERATURA	u	1
	INDICADOR DE TEMPERATURA DE DEVANADO	u	1
	MEDIDOR DE TEMPERATURA ACEITE	u	1
	MEDIDOR DE TEMPERATURA DE BOBINADOS	u	1
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 5P20-15VA	u	1
	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE 0,5-15VA	u	1
	VALVULA DE SOBREPRESION	u	1
	VALVULA DE VACIO DEL FILTRO DE ACEITE	u	1
	TUBERIAS DEL SISTEMA ANTIEXPLOSION	u	1

Listado óptimo de repuestos eléctricos de la central Alazán. Fuente: Autor

La aplicación de la metodología de RCS brindará una optimización en la gestión de repuesto e inventario ya que las cantidades propuestas para stock, en el presente trabajo, garantizan la optimización de la mantenibilidad de la central Alazán.

VIII. RECOMENDACIONES

Con la finalidad de garantizar las metas anuales establecidas en los indicadores de gestión operativa, disponibilidad y confiabilidad de la central Alazán, se recomienda la aplicación inmediata de los resultados obtenidos, debido a que la definición de la estrategia de mantenimiento conformada por la aplicación de criticidad de equipos, RCM y RCS apunta a obtener un equilibrio técnico económico en la gestión de mantenimiento de la central Alazán. La implementación de estos resultados debe ser incorporada en el plan de

mantenimiento y puesto en consideración de la Administración para su aprobación.

La incorporación del presente trabajo en el plan de mantenimiento de la central Alazán beneficia la gestión del mantenimiento siempre y cuando sea coordinado con las áreas asociadas, adquisiciones y seguridad; por este motivo es recomendable la socialización de los resultados para la gestión de asignación de recursos e incorporación de los nuevos requerimientos en el presupuesto y planes de compra.

Es recomendable la socialización y entrenamiento en la técnica de RCM y RCS al personal de operación y mantenimiento de la central Alazán ya que con esta nueva implementación se concientizará en temas de mejora en la gestión de producción de la central. El talento humano asociado a la central Alazán representa un pilar fundamental en la adecuada aplicación y seguimiento de los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Luego de implementar la técnica de RCM y RCS en el plan de mantenimiento de la central Alazán, se recomienda hacer el seguimiento de la aplicación y retroalimentación de los resultados obtenidos a fin de poder mejorar continuamente en el análisis de criticidad de equipos y sistemas de la central Alazán, la frecuencia de análisis y actualizaciones no debe ser mayor a un año.

Para el caso de equipos y sistemas asociados a la cadena de valor de la central Alazán, tales como: captaciones, conducción, desarenadores y obras civiles, se recomienda mantener las políticas de gestión de mantenimiento actual ya que los historiales de falla apuntan a que la gestión de mantenimiento llevada a cabo en estos frentes es la adecuada y brinda resultados satisfactorios.

La aplicación de la técnica de mantenimiento centrado en repuestos puede ser complementada con un estudio de factibilidad de la firma de convenios con los fabricantes originales de los equipos críticos, estos con el fin de disminuir los costos financieros de inventarios de repuestos, sobre la base de la aplicación de la estrategia *just in time*.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad del Azuay por el conocimiento impartido y a Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP Hidroazogues por el apoyo brindado para la elaboración del presente trabajo.

REFERENCIAS

- [1] RENOVETEC, (2009). Auditorias de Mantenimiento, Madrid, España.
- [2] F. Sexto, Auditorias de Mantenimiento, Cuenca: Universidad del Azuay, 2018.
- [3] Corporación Eléctrica del Ecuador EP, Estructura de Objetos, Cuenca, 2014.
- [4] <https://es.slideshare.net/pilargomez29/capitulo-4-mtodo-de-w-fine-1>, [consulta: 25 de mayo de 2020]

- [5] MOUBRAY, Jhon. Reliability-Centred Maintenance II. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. ed en español. Aladon LLC: Carolina del Norte, 2004. 432 p.
- [6] Torres, L. (2010). Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia. Tesis de Ingeniería no publicada, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, Colombia.
- [7] Escorcía, N. y Hernandez, L. (2008). Aplicación del modelo de gerenciamiento de partes y repuestos basado en riesgo y confiabilidad aplicada a la unidad de destilación combinada UDC en la refinería de Cartagena. Tesis de Ingeniería no publicada. Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, Colombia.
- [8] CONELEC, (2008). Regulación No. 013/08, Quito, Ecuador.