

**ANÁLISIS DE RIESGO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE
LOS EQUIPOS DE CONTROL, MEDIDA Y PROTECCIÓN DE UNA EMPRESA
PRESTADORA DEL SERVICIO EN ENERGIA ELECTRICA EN COLOMBIA**

CLAUDIA JANETH DIAZ URBINA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2018**

**ANÁLISIS DE RIESGO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE
LOS EQUIPOS DE CONTROL, MEDIDA Y PROTECCIÓN DE UNA EMPRESA
PRESTADORA DEL SERVICIO EN ENERGIA ELECTRICA EN COLOMBIA**

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de:
Especialista en Gerencia de Mantenimiento.**

CLAUDIA JANETH DIAZ URBINA

Director

LUIS GABRIEL NARVAEZ CAMPANA

Especialista en sistemas de redes de distribución

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2018

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero que todo a Dios por darme la oportunidad de realizar la maestría, por los triunfos y los momentos difíciles en mi vida los cuales me han enseñado a ser mejor persona, a mi madre y mi esposo por su apoyo incondicional, consejos y confianza.

Gracias también a mi director (a) de Monografía, Luis Gabriel Narváez Campana, quien me ha orientado y acompañado desde el primer día que empecé a realizar la monografía.

A las personas anteriormente mencionadas, les quiero agradecer su apoyo, comprensión y consejos para el desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	13
1. capitulo 1	14
PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS	14
1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVO GENERAL	15
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 JUSTIFICACION	16
2 capitulo 2.....	17
MARCO TEORICO	17
2.1 ANTECEDENTES	17
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	17
2.3 PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO	20
2.4 ANALISIS DE CRITICIDAD	23
3. capitulo 3.....	37
3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO BAJO ESTUDIO.....	37
3.2 CASO DE ESTUDIO: SUBESTACION ELECTRICA NIVEL DE TENSION 115 KV	37
3.3 Metodologia de criticidad	39
3.4 SISTEMAS Y EQUIPOS ESTUDIADOS:	43
3.5 Efecto de la operación de los relés	43
3.6 Condiciones anormales de servicio.....	43
3.7 La selectividad en sistemas de protección.....	44
4 PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS DE CONTROL, MEDIDA Y PROTECCION DE LA EMPRESA BAJO ESTUDIO	54
4.2 CRITERIOS	54
4.3 MANTENIMIENTO COMO CENTRO DE LUCRO	75

4.4	SUMATORIA DE MINI ECONOMÍAS	76
4.5	Sistema de mantenimiento óptimo	83
4.6	Objetivos a conseguir con el plan de mantenimiento recomendado	84
4.7	Proceso de diseño del plan de mantenimiento	85
5.	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	92
	BIBLIOGRAFIA.....	97

LISTA DE TABLAS

	pág.
tabla 1 Tiempo promedio entre fallas.....	30
tabla 2 Categoría de Impactos	32
tabla 3 Matriz de evaluación de riesgo.....	44
tabla 4 Resultados de criticidad	50
tabla 5 Mantenimiento Componentes Sistema De Control, Medida Y Protección	56

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Modelo básico análisis de criticidad.....	24
Figura 2 Matriz de criticidad.....	28
Figura 3 Nivel de Análisis de criticidad	29
Figura 4 Impactos de falla.....	31
Figura 5 Nivel de Criticidad.....	34
Figura 6 Subestacion eléctrica Empresa de energía eléctrica bajo estudio.....	38
Figura 7 Organización taxonómica	40
Figura 8 Matriz de riesgo Empresa bajo estudio.....	53
Figura 9 Diagrama de configuración de una subestacion de energía eléctrica.....	55
Figura 10 Eventos presentados usuarios en 2017	79

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS)

Anexo A: Escenario Eventos Presentados 2017

RESUMEN

TÍTULO: Análisis De Riesgo Del Plan De Mantenimiento Preventivo De Los Equipos De Control, Medida Y Protección de una empresa prestadora del servicio de energía eléctrica en Colombia.¹

AUTOR: CLAUDIA JANETH DIAZ URBINA.²

PALABRAS CLAVES: subestación, analisis de falla, mantenimiento.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

El tema central de esta investigación será identificar y evaluar los principales riesgos al plan actual de mantenimiento preventivo de los equipos de control, medida y protección de una empresa del sector eléctrico. La Subestación analizada es de tipo exterior, en el nivel de tensión (115kV) tiene una configuración de barra principal más barra de transferencia. Con nueve (9) bahías, dos (2) de transformación una (1) de transferencia y seis (6) que conectan con otras subestaciones.

En el nivel de tensión (33kV) tiene una disposición de barra sencilla con acople, alimentado por dos (2) bancos de transformadores monofásicos 2x (3x20MVA), cada uno con su bahía, siete (7) circuitos de salida y una (1) bahía para conectar al transformador (33/13,2KV) para un total de diez (10). Un (1) interruptor para acople de barras por 33kV.

En el nivel de tensión (13,2kV) se presenta una configuración de barra sencilla con siete (7) circuitos de distribución que prestan el servicio de energía al municipio de Risaralda y una (1) bahía para el circuito de servicios auxiliares de la subestación.

Para identificar los riesgos al plan de mantenimiento es necesario seguir un proceso de análisis, comenzando con la debida inspección del lugar, luego recurrir a un análisis de los datos suministrados por la empresa bajo análisis, donde se puedan identificar los posibles fallos en la periodicidad de la programación del mantenimiento en la subestación. La parte final del presente informe va acompañada con las debidas correcciones, si hay lugar a ellas, con la finalidad de minimizar los diferentes riesgos y así evitar la indisponibilidad del servicio además de futuros accidentes que ocasionen pérdidas humanas o materiales.

¹ Análisis De Riesgo Del Plan De Mantenimiento Preventivo De Los Equipos De Control, Medida Y Protección de una empresa prestadora del servicio de energía eléctrica en Colombia.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Luis Gabriel Narváez Campana especialista en sistemas de redes de distribución.

SUMMARY

TITLE: Risk Analysis of the Preventive Maintenance Plan of the Control, Measurement and Protection Equipment of a company that provides electricity service in Colombia.³

AUTHOR: CLAUDIA JANETH DIAZ URBINA. ⁴

KEYWORDS: Substation, Failure Analysis, Maintenance.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

The central theme of this research will be to identify and evaluate the main risks to the current preventive maintenance plan for the control, measurement and protection equipment of a company in the electricity sector. The Substation analyzed is of the external type, in the voltage level (115kV) it has a configuration of main bus plus transfer bar. With nine (9) bays, two (2) of transformation one (1) of transfer and six (6) that connect with other substations.

At the voltage level (33kV) it has a single rod arrangement with coupling, powered by two (2) banks of single-phase transformers 2x (3x20MVA), each with its bay, seven (7) output circuits and one (1) bay to connect to the transformer (33 / 13,2KV) for a total of ten (10). One (1) switch for 33kV busbar coupling.

At the voltage level (13.2kV) there is a simple bus configuration with seven (7) distribution circuits that provide the energy service to the municipality of Risaralda and one (1) bay for the auxiliary services circuit of the substation To identify the risks to the maintenance plan, it is necessary to follow an analysis process, beginning with the proper inspection of the site, then resorting to an analysis of the data provided by the company under analysis, where possible failures in the periodicity of the maintenance schedule in the substation. The final part of this report is accompanied by corrections, if any, in order to minimize the different risks and thus avoid the unavailability of the service as well as future accidents that cause human or material losses.

³ Risk Analysis of the Preventive Maintenance Plan of the Control, Measurement and Protection Equipment of a company that provides electricity service in Colombia.

⁴ Faculty of Mechanical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Luis Gabriel Narvaez Campana specialist in distribution network systems.

INTRODUCCION

El mantenimiento es definido como la acción técnica encargada de mantener o restaurar un equipo para garantizar su función ante una acción determinada, una eficaz gestión de mantenimiento ayuda a la empresa a reducir costos y tiempo de producción perdido en reparación, pero en la mayoría de las empresas ven el mantenimiento como un departamento que va encaminado detrás de la productividad comprometiendo las metas financieras de la organización. Diseñar un proceso de gestión de mantenimiento eficiente con las nuevas técnicas de nivel mundial para planes de mantenimiento preventivos, se ha constituido en una de las principales herramientas para optimizar el mantenimiento de las organizaciones. En la actualidad, las empresas de energía eléctrica sufren de varias problemáticas, entre las cuales se destacan los riesgos debido a fallas, ya sea por errores humanos, errores del sistema o de diseño⁵.

El presente trabajo a través del análisis de riesgos busca mejorar el plan de mantenimiento actual que se aplica en la Empresa bajo estudio a sus equipos de protección que mitiguen o atenúen el impacto de las causas de falla y reducir costos en el mantenimiento; el cual consta de una evaluación de las diferentes causas que pueden estar ocasionando fallas, lo que genera un incremento de riesgos. El programa de mantenimiento es una propuesta de solución de este problema, para la reducción de riesgos para lograr una mayor confiabilidad además brindar seguridad a los equipos y a los operarios.

Para realizar el plan de mantenimiento se tuvo en cuenta la experiencia del personal de mantenimiento de la empresa o de empresas similares del sector, la

⁵ Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las bombas hidráulicas que trasiegan combustible diésel marino del bote Urabá de la empresa petrocomercial S.A. [En Línea], 2012 [Consultado el 2 de abril de 2018] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/libro/Torres/Parte1.pdf>

información recopilada de diferentes autores expertos en el área de mantenimiento, las normas, resoluciones y artículos tanto del orden nacional como internacionales aplicables a los elementos de protección de las subestaciones.

La implementación del modelo propuesto va a permitir establecer las actividades de mantenimiento y la periodicidad adecuada para conservar las funciones operacionales de los equipos y que estos puedan ser más eficientes y eficaces, generando así un valor agregado.

Con el fin de resaltar y mejorar los conocimientos sobre los activos a los que se les está desarrollando el mantenimiento se deben efectuar reuniones con las diferentes personas involucradas y que forman parte del grupo de mantenimiento y operación, tendientes a evaluar el modelo planteado y establecer un mejoramiento continuo.

Se deben establecer indicadores que midan la optimización del mantenimiento y el aumento de la confiabilidad apuntando al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la compañía.

1. CAPITULO 1

PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

En mantenimiento el Análisis de Riesgos generalmente se asocia con una parte importante en la elaboración de los permisos de trabajo requerido para ejecutar una actividad en campo, no obstante, esa es una de las tantas aplicaciones que se le pueden dar a un análisis de riesgo. Existen una gran variedad de metodologías para evaluar los riesgos y peligros, todas basadas en el análisis cuantitativo o cualitativo de la consecuencia y la probabilidad de ocurrencia de fallas de los equipos, sin embargo los resultados de estas pueden ser producido en formatos

diferentes con el objetivo de adaptarlas para ser aplicadas a las diferentes fases de la vida útil de las instalaciones, así pues, podemos encontrar análisis de riesgo aplicables a la fase de diseños, a la fase de construcción, a la fase de preparación para la operación y a la fase operativa de un activo.

1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Un sistema de control, protección y medida se compone de varios elementos, que al presentar una falla generan problemas en la confiabilidad y calidad del sistema. Es por esto que al contar con un Plan de Mantenimiento asociado a estos equipos el cual se construye con las recomendaciones del fabricante, normas y experticia del personal técnico se quiere mitigar en cierta manera las fallas al sistema, por lo que se ve la necesidad o se hace relevante la inclusión de aspectos de riesgos que complementen o redefina el Plan de Mantenimiento actual que aplica la empresa bajo estudio a sus equipos de protección que mitiguen o atenúen el impacto de las causas de las fallas y reducir costos en el mantenimiento.

De acuerdo a lo anterior, esta monografía pretende lograr las respuestas a los siguientes interrogantes: ¿Qué efectos se dan sobre el plan de mantenimiento actual al aplicar conceptos de riesgos?, ¿Cómo se ven afectados los intervalos de tiempo empleados en el actual plan de mantenimiento al incluir un análisis de riesgos?

1.2 OBJETIVO GENERAL

Definir los riesgos sobre el plan de mantenimiento preventivo para los equipos de control, medida y protección de la empresa bajo estudio en la subestación de energía Eléctrica buscando la reducción de las fallas en sus activos de protección.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar y/o ajustar el plan de mantenimiento preventivo en los equipos de control, medida y protección aplicando el concepto de riesgos.
- Realizar el análisis de riesgo de los equipos de control, medida y protección para el desarrollo de la matriz de panorama de riesgo.
- Evaluar los riesgos para identificar si los tiempos de mantenimiento definidos son los más óptimos o de lo contrario requieren replanteo.

1.4 JUSTIFICACION

En la actualidad el equipo de trabajo de control, medida y protección aplica para la programación del mantenimiento de los equipos un plan de trabajo elaborado por un análisis universitario, en donde se aplicaron diversos criterios de fabricantes de equipos, resoluciones y normas permitiendo obtener los mejores resultados en la programación del mantenimiento; se espera realizar un análisis de riesgos al plan de mantenimiento actual que permita disminuir las fallas que se presentan en los diferentes equipos asociados a control, medida y protección, incrementando confiabilidad y continuidad del servicio de energía a los clientes y grupos de interés dependiendo de las características del sistema de la empresa bajo estudio.

2 CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las maquinas a través del tiempo. Bajo esta premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde con las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios, que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos.⁶

La historia del mantenimiento, como parte estructural de las empresas, data desde el momento mismo de la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- 2.2.1 Mantenimiento.** El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un Sistema se mantienen, o se establece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa. Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan por resultado una variabilidad excesiva en el producto y, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar

⁶ Mora Gutiérrez, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Alfaomega Colombiana S.A., Bogotá, DC., 2009. 528 p. ISBN 978-958-682-769-0

dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de mantenimiento.⁷

2.2.2 Tipos De Mantenimiento.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Este tipo de mantenimiento solo se realiza cuando el equipo es incapaz de cumplir parcial o totalmente la función para la cual fue diseñado. El mantenimiento correctivo se clasifica en⁸:

- Planificado: Consiste en la reparación de un equipo o maquina cuando se dispone del personal, repuestos y documentos técnicos necesarios para efectuarlo⁹.
- No planificado: Corrección de averías o fallas cuando estas se presentan, ese tipo de mantenimiento impide el diagnostico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si fallo por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo o por desgaste natural.¹⁰

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: El mantenimiento preventivo es una actividad programada en cuanto a analisis, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo en condiciones óptimas de operación. Se ejecuta bajo recomendaciones del fabricante, las fallas que ha presentado el equipo condiciones de trabajo dadas:

Este tipo de mantenimiento ofrece las siguientes ventajas:

⁷ Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrias AVM S.A. [Sitio Web]. Trabajo de grado [consultado: 10 diciembre 2017] Disponible en <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2004/112490.pdf>

⁸ Comisión Venezolana de normas industriales. Mantenimiento definiciones. COVENIN 3049-93. 93-12-01. 20 p.

⁹ Mantenimiento. Solamente mantenimiento. [En línea] [Citado el: 05 de enero de 2018.] http://www.solomantenimiento.com/m_correctivo.htm.

- Proporcionar una mayor seguridad en los equipos y para el personal.
- Aumenta la probabilidad de disminuir los paros imprevistos de la maquinaria, disminuye las reparaciones frecuentes que ocasionaran que se pierda la disponibilidad.
- Mayor calidad en el producto o el servicio.
- Proporciona mayor control del personal de mantenimiento y de los equipos de la empresa.
- Disminución en los costos de las reparaciones¹¹.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: Monitoreo de condiciones y analisis del comportamiento de los equipos para predecir su intervención, de acuerdo a los niveles de admisibilidad, los más utilizados son el analisis de aceites y de vibraciones¹².

Mantenimiento detective o búsqueda de falla: Consisten en la inspección de las funciones ocultas, a intervalos regulares para ver si han fallado y reacondicionarlas en caso de falla (falla funcional). ¹³

Mantenimiento mejoramiento o rediseño: Consisten en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación.¹⁴

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM): Este Sistema caracterizado por las siglas TPM (Total productive maintenance), coloca todos los integrantes de la organización, en la tarea de ejecutar un programa de mantenimiento preventivo, con el objetivo de maximizar la efectividad de los bienes. Centra entonces el programa en el factor humano de toda la compañía, para lo cual se asignan tareas

¹⁰ SUAREZ, Diógenes y BRAVO, Darwin "Mantenimiento mecánico", Universidad de oriente. Venezuela (2008)

¹¹ Ing. Andrey Vinajera Zamora e Ing Raynel Dominguez Martínez. Producción, procesos y operaciones julio 10 de 2010.

¹² SUAREZ, Diógenes y BRAVO, Darwin "Mantenimiento mecánico", Universidad de oriente. Venezuela (2008)

¹³ DUFFUAA. Salih, RAOUF A, CAMPBELL, John "Sistemas de mantenimiento planeación y control". Editorial Limusa México (2008)

¹⁴ Norma técnica "Manual del proceso de mantenimiento de rutina" (2004). PDVSA MR-02-15-06

de mantenimiento a ser realizadas en pequeños grupos, mediante una condición motivadora.

TPM se explica por:

- Efectividad total a efectos de obtener la rentabilidad adecuada, teniendo en cuenta que esta hace referencia a la producción, a la calidad, al costo, al tiempo de entrega, a la moral, a la seguridad, a la salubridad y al ambiente.
- Sistema de mantenimiento total consistente en la prevención del mantenimiento y en la mejora de la mantenibilidad.
- Intervención autónoma del personal en tareas de mantenimiento.
- Mejoramiento permanente de los procesos al mejorar el mantenimiento.¹⁵

MANTENIMIENTO CENTRADO EN EL RIESGO (RBI): El mantenimiento centrado en el riesgo es una metodología, que tiene como propósito definir las actividades necesarias para detectar el deterioro en servicio de los equipos antes que se produzcan las fallas. Esta metodología presenta un Sistema predictivo que sirve para determinar las futuras fallas que se puedan presentar en el equipo y a su vez determinar las acciones para atenuar dichos modos de falla.¹⁶

2.3 PROGRAMACION DEL MANTENIMIENTO

Se le llama programación del mantenimiento preventivo, al proceso de correlación de los códigos de los equipos con la periodicidad, cronogramas de ejecución de las actividades programadas, instrucciones de mantenimiento, datos de medición,

¹⁵ Perez Jaramillo, Carlos Mario. Gerencia de mantenimiento y sistemas de información, Soporte, 1992, 309 p.

¹⁶ RODRIGUEZ, gestión del mantenimiento, 2008, 7, Espinoza, optimización del mantenimiento, epoch, pág. 54

códigos de material y cualquier otro dato, juzgado por el usuario como necesario para actuar preventivamente en los equipos.¹⁷

La programación del mantenimiento es un diseño de actividades distribuidas en el tiempo de operación de la máquina, donde se asignan recursos dependiendo de la situación del equipo que permiten mantenerlo en condiciones operacionales aceptable, para cumplir con las metas de producción establecida por la empresa. Existen tres tipos de planes de mantenimiento y son los siguientes:

- Planes a largo plazo (cubre un periodo de 5 años)
- Planes a mediano plazo (cubre un periodo de un año)
- Planes a corto plazo (son los planes programados para cada semana del año)¹⁸

2.3.1 Plan De Mantenimiento. Es el conjunto de actividades o trabajos de mantenimiento planeados y rutinarios, establecidos para verificar la realización de un mantenimiento que garantice la confiabilidad de los equipos para así, lograr aumentar su disponibilidad y prolongar su vida útil.

2.3.2 El Riesgo. El riesgo se define como la posibilidad de ocurrencia de un evento que genera consecuencias que afectan el entorno (ambiente, persona, activos). El riesgo se puede describir como la percepción de un peligro (causa inminente de pérdida), la percepción que tienen las personas de los peligros influye en la percepción que tienen el riesgo asociado.¹⁹

¹⁷ TAVARES, Augusto Laurival, Administración moderna de mantenimiento. [En Línea], 11 y 12 de mayo de 2009 [Consultado el 30 de marzo de 2018] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/cap/cursos/uruman2009.pdf>

¹⁸ Ing. Andrey Vinajera Zamora e Ing. Raynel Dominguez Martínez producción, procesos y operaciones Julio 10 de 2010.

¹⁹ RODRIGUEZ, “gestión del mantenimiento”, 2008, pag.7.

2.3.3 Valoración Del Riesgo. La valoración del riesgo es el proceso de evaluar los riesgos que surgen de unos peligros, teniendo en cuenta la suficiencia de los controles existentes, y de decidir si los riesgos son aceptables o no.

PASOS BASICOS A SEGUIR EN LA IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS Y LA VALORACION DE LOS RIESGOS

Los criterios necesarios para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos son:

- a) Clasificar las actividades del lugar de trabajo: preparar una lista de los procesos de trabajo y de cada una de las actividades que lo componen; esta lista debería incluir instalaciones, planta, personas y procedimientos.
- b) Identificar los peligros: incluir todos aquellos relacionados con cada actividad laboral. Considerar quien y cómo puede resultar afectado.
- c) Identificar los controles de los riesgos: relacionar los controles existentes que la organización ha implementado para reducir el riesgo asociado a cada peligro.
- d) Evaluar el riesgo: Calificar el riesgo asociado a cada peligro, incluyendo los controles existentes que están implementados. Se deberían considerar la eficacia de dichos controles y la probabilidad y las consecuencias si estos faltan.
- e) Definir los criterios para determinar la aceptabilidad del riesgo.
- f) Decidir si el riesgo es aceptable, determinar la aceptabilidad de los riesgos y decidir si los controles existentes o planificados son suficientes para mantener los riesgos bajo control y cumplir los requisitos.
- g) Elaborar el plan de acción para el control de los riesgos a fin de mejorar los controles existentes si es necesario, o atender cualquier otro asunto que lo requiera.

- h) Revisar el plan de acción propuesto: re-valorar los riesgos con base en los controles propuestos y verificar que los riesgos serán aceptables.
- i) Asegurar que los controles implementados son efectivos y que la valoración de los riesgos está actualizada²⁰.

2.4 ANALISIS DE CRITICIDAD

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un análisis de criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis.²¹

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

Criticidad = Frecuencia x Consecuencia

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y

²⁰ Crespo, A., Sanchez, Models for Maintenance Optimization. A. (2002).

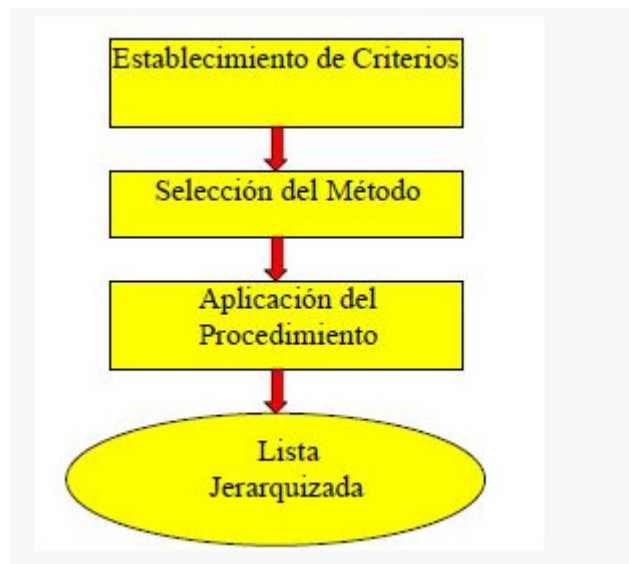
²¹ Análisis de criticidad [sitio Web] [consultada: 30 de marzo de 2018] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope>, 2018

ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Un modelo básico de análisis de criticidad, es equivalente al mostrado en la figura 1. El establecimiento de criterios se basa en los seis (6) criterios fundamentales nombrados en el párrafo anterior. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

Figura 1 Modelo básico análisis de criticidad



Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

En el ámbito de mantenimiento:

Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

En el ámbito de inspección:

El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

En el ámbito de materiales:

La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, podemos sincerar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

En el ámbito de disponibilidad de planta:

Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

A nivel del personal:

Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación

técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentra las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.²²

2.4.1. Descripción De La Metodología De Analisis De Criticidad. Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de Frecuencia por consecuencia de la falla. Ver figura 2.

En un eje se representa la Frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

²² Metodología para mejorar la confiabilidad [Sitio Web] [Consulta: 30 de marzo de 2018] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-o-pe>, 2018

Figura 2 Matriz de criticidad

The matrix is a 6x6 grid. The first column is labeled 'Categoría de Frecuencia' and contains values 5, 4, 3, 2, 1. The first row is labeled 'Categoría de Consecuencias' and contains values 1, 2, 3, 4, 5. The cells contain letters B, M, or A, color-coded: B is green, M is yellow, and A is red. The matrix is titled 'Matriz de Criticidad' at the bottom.

Categoría de Frecuencia	Categoría de Consecuencias 1	Categoría de Consecuencias 2	Categoría de Consecuencias 3	Categoría de Consecuencias 4	Categoría de Consecuencias 5
5	M	M	A	A	A
4	M	M	A	A	A
3	B	M	M	A	A
2	B	B	M	M	A
1	B	B	B	M	A

Matriz de Criticidad

En la matriz de criticidad se identifican con letras los niveles de criticidad:

B: Criticidad baja color verde

M: Criticidad media color amarillo

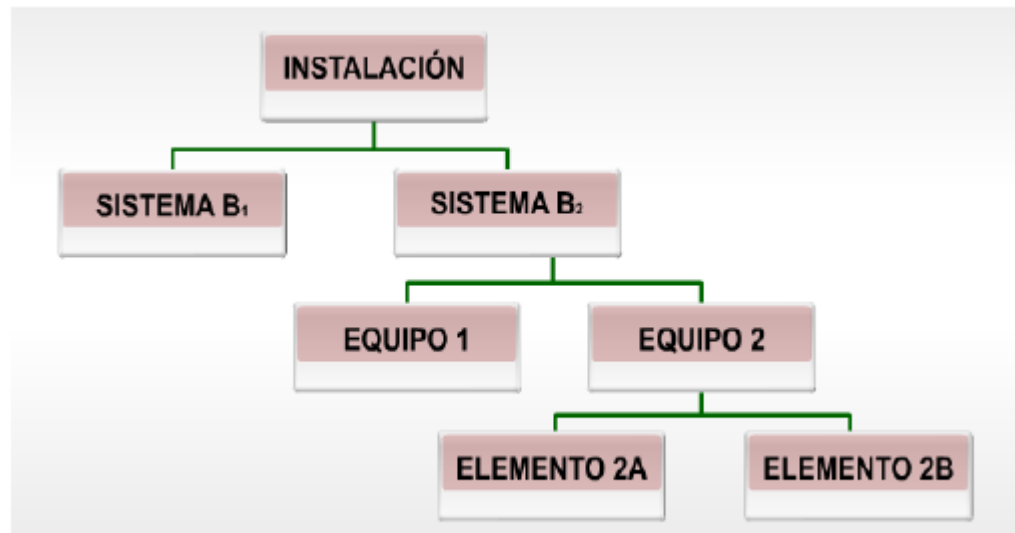
A: Criticidad Alta color rojo

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el valor de criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

2.4.2. Pasos Para Determinar La Criticidad.

DEFINIR EL NIVEL DE ANALISIS: Se deberán definir los niveles en donde se efectuara el analisis: Instalacion, sistema, equipo o elemento, de acuerdo con los requerimientos o necesidades de jerirquizacion de activos. Ver figura 3:

Figura 3 Nivel de Análisis de criticidad



Niveles de analisis para evaluar criticidad

Se requiere contar con la siguiente información para realizar el análisis:

- Relación de las instalaciones (se refiere al tipo de instalaciones).
- Relación de sistema y equipo por instalación (se requiere a diferentes tipos de sistemas y equipos).
- Ubicación (área geográfica, región) y servicio.
- Filosofía de operación de la instalación y equipo.
- Diagramas de Flujo de Proceso (DFP).
- Registros disponibles de eventos no deseados o fallas funcionales.

- Frecuencia de ocurrencia de los eventos no deseados o las fallas consideradas en el análisis.
- Registros de los impactos en producción (% pérdida de producción debido a la falla del elemento, equipo, sistema o instalación en estudio, producción diferida y costos relacionados).
- Registros de los impactos en la seguridad de los procesos.

DEFINIR LA CRITICIDAD: La estimación de la frecuencia de falla y el impacto total o consecuencia de las fallas se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos:

- **Estimación de la frecuencia de la falla funcional:** Para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema. La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por año.

La tabla 1 muestra los criterios para estimar la frecuencia.

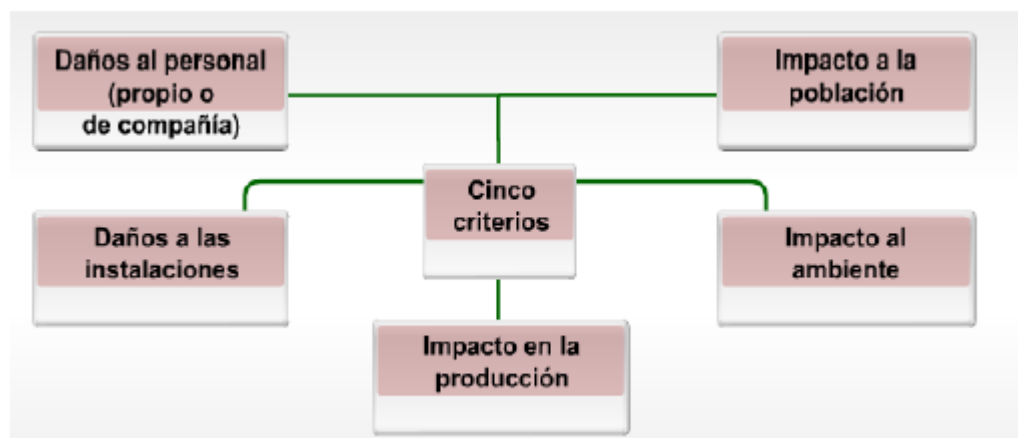
Se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año, en caso de no contar con esta información utilizar base de datos genéricos (PARLOC, OREDA, etc.) y si esta no está disponible basarse en la opinión de expertos.

tabla 1 Tiempo promedio entre fallas

Categoría	Tiempo promedio entre fallas TPEF, en años	Número de fallas por año	Interpretación
5	$TPEF < 1$	$\lambda > 1$	Es probable que ocurran varias fallas en un año.
4	$1 \leq TPEF < 10$	$0.1 < \lambda \leq 1$	Es probable que ocurran varias fallas en 10 años, pero es poco probable que ocurra en 1 año.
3	$10 \leq TPEF < 100$	$0.01 < \lambda \leq 0.1$	Es probable que ocurran varias fallas en 100 años, pero es poco probable que ocurra en 10 años.
2	$100 \leq TPEF < 1000$	$0.001 < \lambda \leq 0.01$	Es probable que ocurran varias fallas en 1000 años, pero es poco probable que ocurra en 100 años.
1	$TPEF \geq 1000$	$0.001 \leq \lambda$	Es poco probable que ocurran en 1000 años.

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean los siguientes criterios y sus rasgos preestablecidos. Ver figura 4.

Figura 4 Impactos de falla



Los daños al personal, impacto a la población y al ambiente serán categorizados considerando los criterios que se indican en la tabla Categoría de los Impactos.

Los Impactos en la Producción (IP) cuantifican las consecuencias que los eventos no deseados generan sobre el negocio. Este criterio se evaluará considerando los

siguientes factores: Tiempo Promedio para Reparar (TPPR), Producción Diferida, Costos de Producción (aceite y gas).

$$\text{IP} = (\text{Producción Diferida} \times \text{TPPR} \times \text{Costo Unitario del Producto})$$

El valor resultante permitirá categorizar el IP de acuerdo con los criterios de la tabla Categoría de los Impactos.

Los impactos asociados a Daños de las instalaciones (DI) se evaluarán considerando los siguientes factores:

- Equipos afectados
- Costos de Reparación
- Costos de Reposición de Equipos

$$\text{DI} = (\text{Costos de Reparación} + \text{Costos de Reposición de Equipos})$$

El valor resultante permitirá categorizar el DI de acuerdo con los criterios de la tabla Categoría de los Impactos. Ver tabla 2

tabla 2 Categoría de Impactos

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Pérdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, permanente, heridas severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, permanente, daños o enfermedades en al menos un miembro de la población.	Daños irreversibles al ambiente pero que violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas.	Daños ambientales regables sin violación de leyes y regularizaciones, la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieran tratamiento médico o primeros auxilios.	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM
1	Sin impacto en el personal de la planta.	Sin efecto en la población	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

De la tabla Categoría de los Impactos, el valor ubicado en la columna Categoría se asignará las consecuencias, y este se empleará para realizar el cálculo del nivel de criticidad. El impacto o consecuencia total de una falla se determina sumando los valores de las categorías correspondientes a cada columna o criterio multiplicado por el valor de la categoría obtenida de la tabla que determina la frecuencia de ocurrencia de falla.

CALCULO DEL NIVEL DE CRITICIDAD: Para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se debe emplear la fórmula:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{consecuencia}$$

Para las variables se utilizan los valores preestablecidos como “categorías” de las tablas Categoría de las Frecuencias de Ocurrencia y Categoría de los impactos, respectivamente.

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la Matriz de Criticidad diseñada para PEP, para determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos. Ver figura 5.

Figura 5 Nivel de Criticidad



Matriz de criticidad – PEP

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS: Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional. Este análisis final permitirá validar los resultados obtenidos, a fin de detectar cualquier posible desviación que amerite la reevaluación de la criticidad.

DEFINIR EL NIVEL DE ANÁLISIS: El resultado obtenido de la frecuencia de ocurrencia por el impacto permite “jerarquizar” los problemas, componentes, equipos, sistemas o procesos, basado en la criticidad. El cuál es el objetivo de la aplicación de la metodología. La valoración del nivel de criticidad y la identificación de los activos más críticos permitirá orientar los recursos y esfuerzos a las áreas que más lo ameriten, así como gerenciar las acciones de mitigación del riesgo en elementos subsistemas, considerando su impacto en el proceso.

DETERMINAR LA CRITICIDAD: Permite completar la metodología, sin formar parte de la misma. Cuando en la evaluación de un activo obtenemos frecuencias de ocurrencias altas, las acciones recomendadas para llevar la criticidad de un

valor más tolerable deben orientarse a reducir la frecuencia de ocurrencia del evento. Si el valor de criticidad se debe a valores altos en alguna de las categorías de consecuencias, las acciones deben orientarse a mitigar los impactos que el evento (modo de falla o falla funcional) puede generar.

Dentro de las acciones o actividades que se recomiendan, se pueden incluir la aplicación de otras metodologías de Confiabilidad, con el objeto de:

- Identificar las causas raíz de los eventos de deseados y recomendar acciones que las eliminen mediante el Análisis Causa Raíz (ACR).
- Mitigar los efectos y consecuencias de los modos de falla y frecuencia de las fallas por medio de las aplicaciones de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) e Inspección Basada en Riesgo (IBR).
- Complementar y/o validar los resultados mediante análisis RAM.

SISTEMA DE SEGUIMIENTO DE CONTROL: Después de la selección de las acciones de mejora en las frecuencias de ocurrencia de los eventos y mitigación de impactos se debe crear y establecer en Seguimiento y Control, para garantizar el monitoreo de la ejecución de las acciones seleccionadas y el cumplimiento de las recomendaciones consecuentes de AC.

Los objetivos de Seguimiento y Control son:

- Asegurar la continuidad en el tiempo de la aplicación de los planes de acción resultantes de la aplicación de la Metodología Análisis de Criticidad.
- Promover la cultura del dato en todos los niveles de la empresa.

- Monitorear los cambios o mejoras que pueden derivarse de la aplicación de las acciones generadas como resultados de los análisis para determinar se requiere un nuevo análisis.

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS: Se debe crear un expediente, con los registros y documentos resultantes de la aplicación de las Análisis de Criticidad realizados a las instalaciones, sistema, equipos y elementos.²³

3. CAPITULO 3

ANALISIS DE RIESGOS DE LOS EQUIPOS DE CONTROL Y PROTECCION EN SUBESTACION BAJO ESTUDIO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO BAJO ESTUDIO

Actualmente la Empresa posee 62 subestaciones, de las cuales 17 corresponden a un nivel de tensión de 115 kV y tres (3) tienen conexión al Sistema de Transmisión Nacional (STN).

Cada subestación tiene asociado equipos de medida, transformación, protección y de seccionamiento en patio, para garantizar las señales de protección, control y medida además de equipos de servicios auxiliares.

Las intervenciones por mantenimiento en subestaciones de la Empresa bajo estudio deben garantizar las mínimas condiciones en la calidad del servicio las cuales son definidas por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG). Es importante para la planeación de los mantenimientos tener presente la supervisión y control de ésta, y la resolución 097 del 2008 capítulo 11, en la cual se establecen las máximas horas anuales de indisponibilidad permitida de los activos del STR y la formulación para determinar las compensaciones por demanda no atendida para el SDL, estas resoluciones son determinantes en la programación de las diferentes actividades del mantenimiento correspondiente a acciones preventivas, predictivas y correctivas a los diferentes activos de subestaciones.

3.2 CASO DE ESTUDIO: SUBESTACION ELECTRICA NIVEL DE TENSION 115 KV

Para el desarrollo del presente trabajo Se analizó una subestación de energía de la empresa bajo estudio que se muestra en la figura 6, se empleó información

²³ Análisis de criticidad. [Sitio Web] [Consulta: 30 de marzo de 2018] Disponible

técnica de los equipos instalados información proporcionada por esta empresa del sector eléctrico colombiano.

Figura 6 Subestacion eléctrica Empresa de energía eléctrica bajo estudio



La subestacion de energía eléctrica bajo estudio, se encuentra ubicada en el municipio de Risaralda, fue construida en el año 1987 con el objeto de prestar los servicios de energía eléctrica a los clientes industriales, comerciales y residenciales de la zona.

Presta alimentación a través de tres niveles de tensión:

en:http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Criticidad.pdf, 2018

- ✓ 115kV: En el nivel de tensión de 115kV tiene una configuración de Barra principal más barra de transferencia. con 9 bahías, dos de transformación, una de transferencia y 6 que conectan con otras subestaciones.
- ✓ 33kV: En el nivel de tensión de 33kV tiene una disposición de barra sencilla con acople, alimentado por dos bancos de trafos monofásicos 2x(3X20MVA), cada uno con su bahía, 7 circuitos de salida y 1 bahía para conectar al Trafo 33/13.2 kV. Para un total de 10 bahías. Un interruptor para acople de barras por 33kV
- ✓ 13,2kV: En el nivel de tensión 13,2kV se presenta una configuración de barra sencilla con 7 circuitos de distribución que prestan el servicio de energía eléctrica y una bahía para el circuito de servicios auxiliares de la subestación.

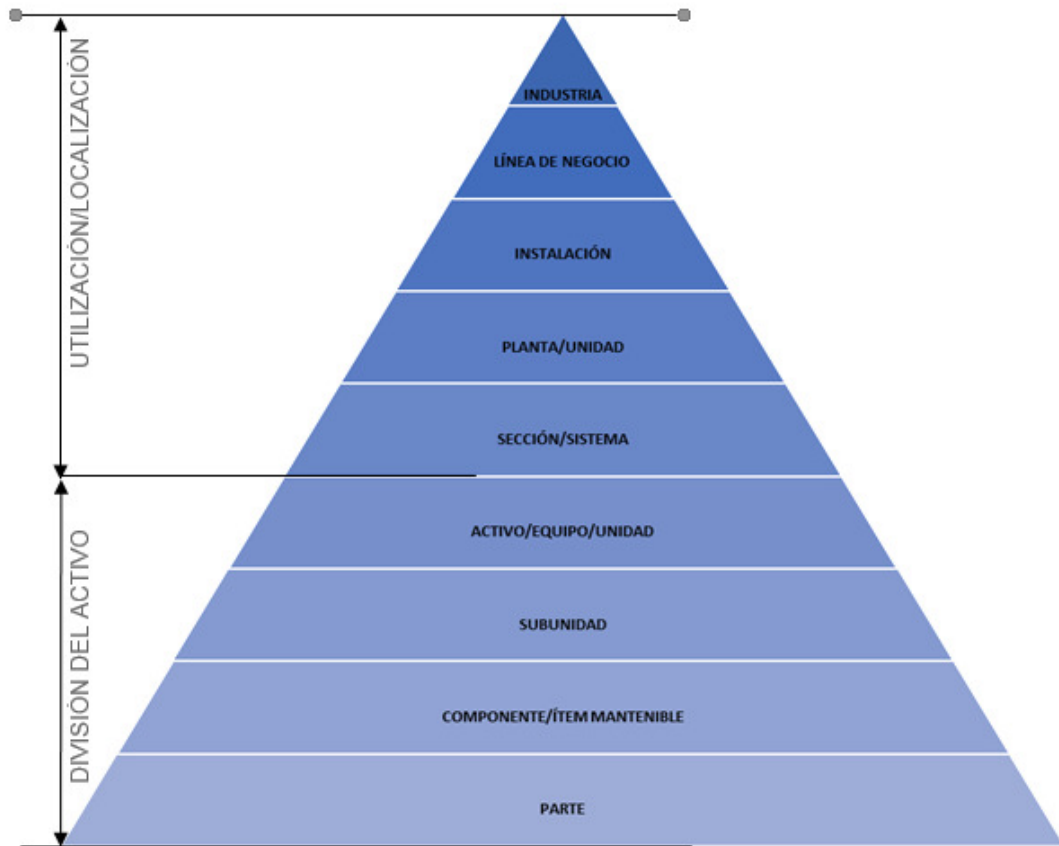
3.3 METODOLOGIA DE CRITICIDAD

Para el caso de estudio se definió la siguiente metodología para realizar el analisis de criticidad:

PREPARACION: Preparación y organización taxonómica.

Dentro de la organización se definió la taxonomía basada en el modelo de la norma ISO 14224 y sus 9 niveles de jerarquía, en donde se obtiene una recopilación de información técnica y operacional de los activos.

Figura 7 Organización taxonómica



EVALUACION DE IMPACTOS Y PLANTILLA DE ANALISIS: Definición de tablas de valoración de impactos, en donde se realiza la plantilla para el análisis de criticidad.

TALLER DE ANALISIS DE CRITICIDAD: Se realiza la definición de función principal y contexto operacional, se evalúan las probabilidades de falla y se realiza la evaluación del impacto de la falla según criterios de consecuencia.

INFORME DE FINAL DE CRITICIDAD: Se realiza la revisión de activos críticos resultantes y se presenta el informe final de los activos críticos.

La identificación y evaluación de riesgos de los activos deberá considerar la probabilidad de eventos creíbles y sus consecuencias en todo el ciclo de vida, para ello se evaluarán en los siguientes criterios:

✓ **PERSONAS:** Impacto sobre integridad física individual o colectiva del personal propio, contratistas, la comunidad, clientes o visitantes. En este punto los niveles de criticidad se clasifican de acuerdo a:

- Nivel de tensión:

Nivel 1: Tensión nominal menor a 1 kV, servicio monofásico o trifásico.

Nivel 2: Tensión nominal mayor igual a 1 kV y menor de 30 kV.

Nivel 3: Tensión nominal mayor igual a 30kV y menor de 62 kV

Nivel 4: Tensión Nominal mayor igual a 62 kV.

- Ubicación del equipo: Este se puede encontrar Exterior o Interior.

- Modo de operación:

Manual

Manual y remoto

Remoto

No opera

- Riesgo de explosión

- Frecuencia

✓ **AMBIENTE:** Impacto en el medio ambiente en cualquiera de sus dimensiones: física (agua, aire, suelo), biótica (fauna, flora) y social. En este punto los niveles de criticidad se clasifican de acuerdo a:

- Contenido interno del equipo

- Contenido de PCB's
 - Peso del contenido (Kg)
 - Capacidad de generar incendios
- ✓ **CALIDAD:** Impacto sobre el nivel de satisfaccion de las expectativas de la totalidad de las características y funciones especificadas de los productos, servicios o resultados. En este punto los niveles de criticidad se clasifican de acuerdo a:
- Afecta el servicio
 - Tiene redundancia
 - Demanda asociada al equipo
 - Indisponibilidad de activos
- ✓ **REPUTACION:** Impacto en la percepcion u opinion que tienen los grupos de interes respecto al grupo. En este punto los niveles de criticidad se clasifican de acuerdo a:
- Demanda
 - Tipos de clientes
 - Conexión con terceros
 - Frecuencia asociada a las interrupciones del equipo
- ✓ **FINANCIERO:** Impacto sobre la viabilidad financiera del nivel objeto de analisis. En este punto los niveles de criticidad se clasifican de acuerdo a:
- Costo del activo nuevo
 - Perdida de remuneracion
 - Costo del mantenimiento
 - Consumos asociados al equipo
 - Energia no suministrada

3.4 SISTEMAS Y EQUIPOS ESTUDIADOS:

- Relé de protección controlado por microprocesador
- Gabinetes de agrupamiento y tableros de control, protección y medida
- Medidores

3.5 EFECTO DE LA OPERACIÓN DE LOS RELÉS

Los sistemas de protección están encaminados a prevenir o limitar los posibles daños, o los daños ocasionados por las fallas y evitar por lo tanto el colapso del sistema, manteniendo con ello la seguridad y continuidad en la transmisión de energía hacia los consumidores. Las protecciones deben actuar sobre los interruptores de las líneas de transmisión o los equipos protegidos. Esto trae como consecuencia la alteración topológica del sistema y posiblemente debilite o modifique la capacidad de transmisión.

3.6 CONDICIONES ANORMALES DE SERVICIO

Las condiciones fuera de la normalidad del servicio suelen ocurrir como consecuencia más significativa de eventos naturales, como son las descargas atmosféricas o terremotos, o eventos físicos que se pueden atribuir a errores humanos, también pueden ocurrir después de eventos como sobrecargas o fallas en equipos inductivos o capacitivos y tienen varios síntomas de los cuales el incremento de la corriente es el más común, sin embargo existen otros síntomas que las protecciones deben ser capaces de detectar y medir, estos síntomas son por ejemplo, la pérdida de aislamiento, cambios direccionales de la corriente, incremento o decrementos de la tensión, desviación angular de los fasores, cambios en la frecuencia, cambios en impedancias, el sobrecalentamiento de equipos, etc.

3.7 LA SELECTIVIDAD EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Las protecciones deben ser capaces de detectar y medir las condiciones anormales de servicio, también deben decidir cuan tolerable es esa condición para el sistema o el equipo, determinar la severidad de la condición, discriminar la zona de ocurrencia de la falla y emitir un disparo inmediato o temporizado a los equipos de conexión necesarios para aislar el elemento con falla, es decir, los esquemas de protección deben ser selectivos.

De acuerdo a lo anterior, se realiza la matriz de criticidad de los activos de control, medida y protección de la subestacion bajo estudio, evaluados de acuerdo a lo establecido en la matriz de evaluación de riesgo. Ver tabla 3.

tabla 3 Matriz de evaluación de riesgo

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGO						
UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD						
CONSECUENCIA						
Nivel	PERSONAS (SEGURIDAD)	AMBIENTE	CALIDAD	IMAGEN	FINANCIERAS	

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGO							
UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD							
CONSECUENCIA							
	Nivel de tensión: Nivel 1 (2) Nivel 2 (4) Nivel 3 (8) Nivel 4 (16) Ubicación del equipo: Interior (4) Exterior (16) Frecuencia de las pruebas: (meses) Modo de operación: Manual (16) Manual y Remota (8) Remota (4) No opera (2) Riesgo de Explosión: SI (16) NO (2)	Contenido interno del equipo: SF6 (16) Aceite (8) Acido sulfúrico (4) ACPM (4) N.A (2) Contenido de PCB's: SI (16) NO (2) Peso del contenido interno del equipo: (Kg) El equipo puede generar incendio: SI (16) NO (2)	¿El equipo afecta el servicio? SI (16) NO (2) El equipo tiene redundancia: SI (2) NO (16) DNA: (kW/h_mes) Ui	Demanda asociada al equipo Tipo de clientes: Oficiales Industriales Comerciales Residenciales Conexión con terceros: Generadores OR Grandes Clientes	Costo del activo nuevo (\$) Perdida de remuneración (\$) Costos de mantenimiento (\$) Consumos (\$) ENS (\$)	CRITICIDAD	
Maxima	Muerte o invalidez mínimo de una (1) persona sea funcionario, contratista, visitante o miembro de la comunidad. Secuestro mínimo de una (1) persona sea funcionario, contratista o	La alteración del factor ambiental es mayor al 80%, es decir destruye o cambia casi por completo el factor ambiental considerado. El impacto alcanza sus máximas consecuencias en un tiempo				16	VH

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGO							
UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD							
CONSECUENCIA							
	visitante.	menor a un mes (1) después de su aparición. La duración del impacto en el entorno es superior a los diez (10) años. Los impactos son irreversibles. La alteración de la condición ambiental es imposible de reparar tanto por la acción natural como por intervención humana. El área de afectación del factor ambiental comprende una gran porción o la totalidad de un departamento o de una región. (Ej. una alteración de las condiciones físico-químicas del agua que será consumida por una comunidad).					
Mayor	Pérdidas anatómicas o funcionales que se presenten por lo menos en un (1) funcionario, contratista o miembro de la comunidad.	La alteración del factor ambiental es superior al 60% e inferior al 80%, destruye parcialmente el componente ambiental considerado. El impacto alcanza sus máximas consecuencias entre un (1) mes y un (1) año después de su inicio.				8	H

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGO							
UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD							
CONSECUENCIA							
		Los impactos son irreversibles. La alteración de la condición ambiental suponen una dificultad extrema de retornar por medios naturales a la situación anterior a la acción que lo produce. La duración del impacto en el entorno perdura entre los siete (7) y los diez (10) años. El área de afectación del factor ambiental comprende una porción o la totalidad de un municipio.					
Moderado	Lesiones con incapacidad mayor a 30 días de por lo menos una (1) persona sea funcionario o contratista. Lesiones con incapacidad para mínimo un miembro de la comunidad.	La alteración del factor ambiental es superior al 40% e inferior al 60%, destruye medianamente el componente ambiental considerado El impacto alcanza sus máximas consecuencias entre un (1) año y dos (2) años después de su aparición. Los impactos son reversibles. La alteración de la condición ambiental puede ser asimilada por el				4	L

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGO							
UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD							
CONSECUENCIA							
		entorno de forma medible a mediano o largo plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales de auto depuración del medio. La duración del impacto en el entorno perdura entre los cuatro (4) y seis (6) años. El área de afectación del factor ambiental comprende una porción o la totalidad de una vereda o de un barrio.					
Menor	Lesiones con incapacidad hasta 30 días de por lo menos una (1) persona sea funcionario o contratista.	La alteración del factor ambiental tiene una incidencia superior al 20% e inferior al 40%, afecta en forma baja el componente ambiental considerado. El impacto alcanza sus máximas consecuencias entre los dos (2) años y los (3) años después de su aparición. Los impactos pueden ser recuperados o disminuidos de manera significativa a partir de la implementación de medidas correctoras por la acción del hombre.				2	M

MATRIZ DE EVALUACIÓN DE RIESGO							
UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD							
CONSECUENCIA							
		La duración del impacto en el entorno perdura entre uno (1) y tres (3) años. El área de afectación del factor ambiental comprende el área del proyecto, obra o actividad.					
	Lesiones sin incapacidad.	La alteración del factor ambiental es igual o inferior al 20%, es decir, genera una afectación casi nula del componente ambiental considerado. El impacto alcanza sus máximas consecuencias en un tiempo superior a los tres (3) años. Los impactos desaparecen una vez la alteración de la condición ambiental se detiene. La duración del impacto en el entorno es inferior a un (1) año. El área de afectación del factor ambiental comprende instalaciones individuales o viviendas.				1	N
Mínima							
FRECUENCIA DE FALLA (Número de Interrupciones)						NIVEL	1

A partir de esta se obtienen los siguientes resultados, en donde la criticidad fue evaluada Consecuencia * frecuencia.

Los criterios de consecuencia son: personas, ambiente, calidad, reputación y financiero.

Los criterios de frecuencia son:

F= (factor de antigüedad*30%)+(factor de vida operativa*50%)+(factor de mantenimiento*20%)

Factor de antigüedad: edad/vida útil

Factor de vida operativa= Criterio de experto

Factor de mantenimiento= Si se le realizan rutinas de mantenimiento se coloca 0,5. Si no se le realiza ninguna rutina se coloca 1

tabla 4 Resultados de criticidad

Activo	TOTAL, CALIFICACION	VALOR DE CRITICIDAD	CRITICIDAD
RELE1-TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE2- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE3- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE4- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE5- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE1- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE2- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE3- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE4- TRAFO 33 KV	18	40	ALTO
RELE1- TRAFO 33 KV	18	48	ALTO
RELE1-TRAFO 115 KV	14	20	MEDIO
RELE2- TRAFO 115 KV	14	20	MEDIO
RELE3- TRAFO 115 KV	14	20	MEDIO
RELE4- TRAFO 115 KV	14	20	MEDIO
RELE5- TRAFO 115 KV	14	20	MEDIO
RELE-TRAFO 13.2 KV	14	20	MEDIO

Activo	TOTAL, CALIFICACION	VALOR DE CRITICIDAD	CRITICIDAD
RELE1	14	20	MEDIO
RELE2	14	20	MEDIO
RELE	14	20	MEDIO
RELE1-LINEA 1 33KV.	9	20	MEDIO
RELE2- LINEA 1 33KV	9	20	MEDIO
RELE1-TRAFO 115-33 KV	9	24	MEDIO
RELE1-ACOPLE	8	20	MEDIO
RELE2- ACOPLE	8	20	MEDIO
RELE3- ACOPLE	8	20	MEDIO
RELE1- LINEA 2 33KV	7	16	MEDIO
RELE1- LINEA 3 33KV	7	16	MEDIO
RELE2- LINEA 3 33KV	7	16	MEDIO
RELE1- LINEA 1 115KV	6	10	MEDIO
RELE2- LINEA 1 115KV	6	10	MEDIO
RELE3- LINEA 1 115KV	6	10	MEDIO
RELE1- LINEA 2 115KV	6	10	MEDIO
RELE2- LINEA 2 115KV	6	10	MEDIO
RELE3- LINEA 2 115KV	6	10	MEDIO
RELE1- LINEA 3 115KV	6	10	MEDIO
RELE2- LINEA 3 115KV	6	10	MEDIO
RELE3- LINEA 3 115KV	6	10	MEDIO
RELE1- TRANSFERENCIA	6	10	MEDIO
RELE2- TRANSFERENCIA	6	10	MEDIO
RELE1- LINEA 4 115 KV	6	10	MEDIO
RELE2-LINEA 5 115KV	6	10	MEDIO
RELE3- LINEA 5 115KV	6	10	MEDIO
RELE1- LINEA 6 115KV	6	10	MEDIO
RELE2- LINEA 6 115KV	6	10	MEDIO
RELE3- LINEA 6 115KV	6	10	MEDIO
RELE1-LINEA 4 33 KV	6	16	MEDIO
RELE1-LINEA 5 33 KV	6	8	MEDIO
RELE2-LINEA 5 33 KV	6	8	MEDIO
RELE1-LINEA 6 33 KV	6	8	MEDIO

Activo	TOTAL, CALIFICACION	VALOR DE CRITICIDAD	CRITICIDAD
RELE2- LINEA 6 33 KV	6	8	MEDIO
RELE-LINEA 1 13.2 KV	6	10	MEDIO
RELE-LINEA 2 13,2 KV	5	5	MEDIO
RELE-LINEA 3 13,2 KV	5	5	MEDIO
RELE-LINEA 4 13,2 KV	5	5	MEDIO
RELE-LINEA 5 13,2 KV	5	5	MEDIO
RELE-LINEA 6 13,2 KV	5	5	MEDIO
RELE- RESERVA	5	5	MEDIO
RELE1-LINEA 7 33 KV	5	8	MEDIO
RELE2-LINEA 7 33 KV	5	8	MEDIO
GABINETE DE CONEXIONES-TRAFO 115 KV	3	3	BAJO
GABINETE DE CONEXIONES-TRAFO 2 115 KV	3	3	BAJO
GABINETE DE CONEXIONES-LINEA 1 115 KV	3	3	BAJO
GABINETE DE CONEXIONES-LINEA 2 115 KV	3	3	BAJO
GABINETE DE CONEXIONES-LINEA 3 115 KV	3	3	BAJO
GABINETE DE CONEXIONES-TRANSFERENCIA	3	3	BAJO
GABINETE DE CONEXIONES-LINEA 4 115 KV	3	3	BAJO
GABINETE DE CONEXIONES-LINEA 6 115 KV	3	3	BAJO

Para el analisis de resultados que a continuacion se describen, se considero los criterios de la matriz de riesgos realizada por la Empresa bajo estudio los cuales se presenta en la siguiente figura:

Figura 8 Matriz de riesgo Empresa bajo estudio

FRECUANCIA / PROBABILIDAD	Muy alta	5	5	10	20	40	80
	Alta	4	4	8	16	32	64
	Media	3	3	6	12	24	48
	Baja	2	2	4	8	16	32
	Muy baja	1	1	2	4	8	16
			1	2	4	8	16
			Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
CONSECUENCIA							

Valor	Clasificación	Descripción	Probabilidad de ocurrencia en el período del proyecto
5	Muy alta	Muy alta probabilidad de ocurrencia	Mayor del 85%
		Es probable que ocurra muchas veces	
4	Alta	Alta probabilidad de ocurrencia	60.1% - 85%
		Es probable que ocurra varias veces	
3	Media	Mediana probabilidad de ocurrencia	25.1% - 60%
		Es probable que ocurra algunas veces	
2	Baja	Baja probabilidad de ocurrencia	5.1% - 25%
		Es poco probable que ocurra, pero es posible.	
1	Muy baja	Es casi imposible que ocurra	Menor o igual al 5%
		Puede ocurrir en circunstancias excepcionales	

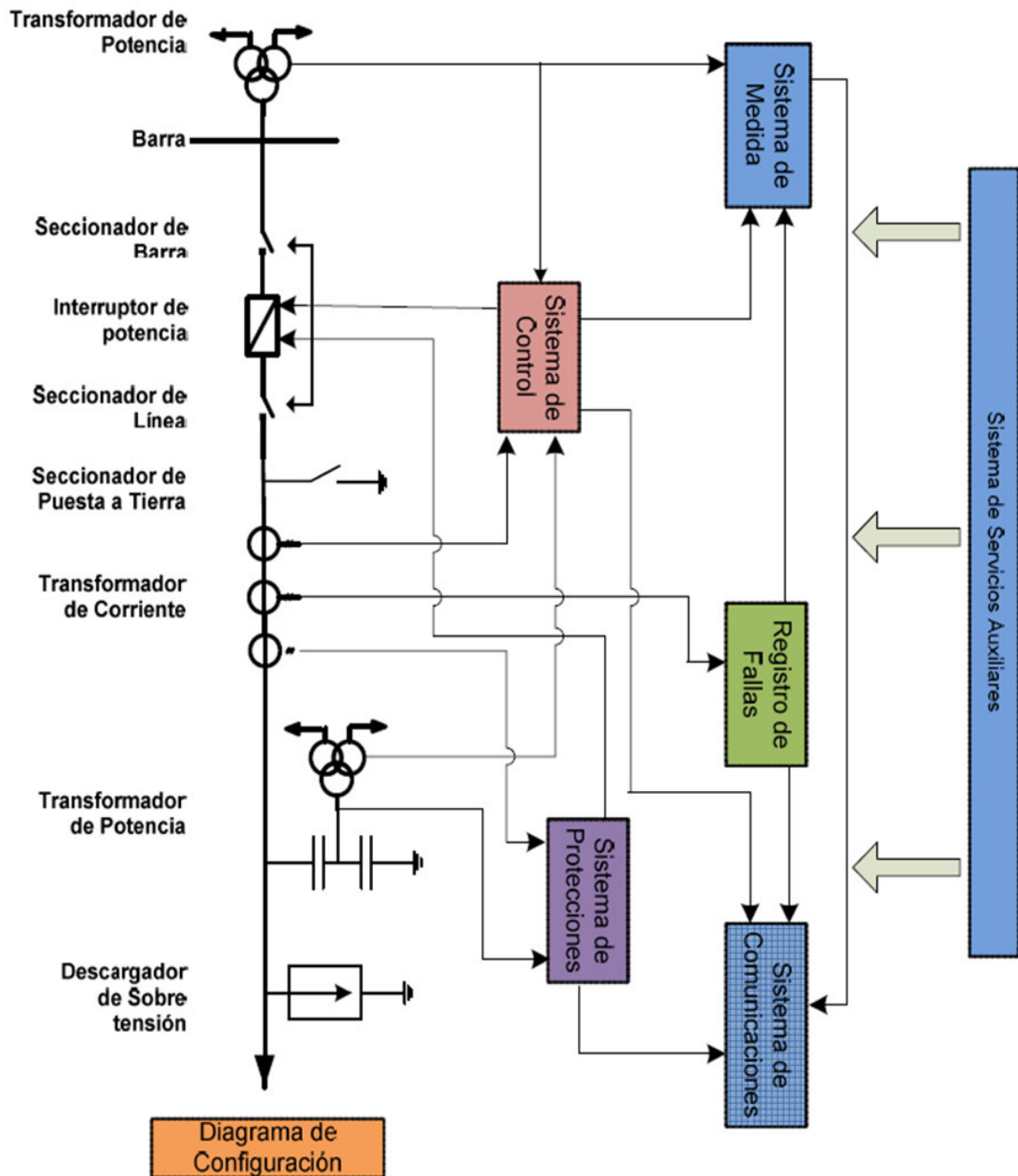
4 PLAN DE MANTENIMIENTO EQUIPOS DE CONTROL, MEDIDA Y PROTECCION DE LA EMPRESA BAJO ESTUDIO

4.2 CRITERIOS

Los criterios definidos para la elaboración de la metodología que permitió la construcción del plan de mantenimiento de los equipos asociados a los sistemas de control, medida y protección de las subestaciones, están basados en la experticia del personal de mantenimiento, en la lectura y posterior adecuación de la información técnica de los equipos, las resoluciones y normas tanto nacionales como internacionales en específico adecuados al NERC (NORTH AMERICAN ELECTRIC RELIABILITY CORPORATION), recomendaciones de los fabricantes, y la adecuación de algunos ítems de técnicas de mantenimiento como TPM y RCM.

Desde el punto de vista operacional una subestación cuenta con los siguientes sistemas (Figura 9).

Figura 9 Diagrama de configuración de una subestacion de energía eléctrica



El estudio universitario realizado, llevo a definir en forma general un plan estratégico de mantenimiento en el cual se tienen en cuenta los siguientes criterios (Tabla 5), donde se definen en forma general las actividades de mantenimiento según el tipo de componente, la periodicidad con que debe realizarse cada

actividad de mantenimiento y las respectivas recomendaciones de donde se toma cada una de ellas.

tabla 5 Mantenimiento Componentes Sistema De Control, Medida Y Protección

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
Relé de	5 años	-Verificar el funcionamiento de las entradas y salidas del relé que son esenciales para el correcto funcionamiento del sistema de protección. -Verificar la medición aceptable de los valores de entrada	Normas NERC Fabricante equipos

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
protección controlado por microprocesador		del sistema de potencia. -Verificar todas las trayectorias de los circuitos de control esenciales para el correcto funcionamiento del sistema especial de protecciones (SPS). -Realizar disparo efectivo al interruptor. -Verificar el funcionamiento eléctrico de los dispositivos de	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		bloqueo electromecánico.	
	10 años	-Cambiar tarjeta fuente. -Cambiar tarjeta de comunicación.	Normas NERC Fabricante equipos
	20 años	- Reposición de equipos.	Experiencia del personal de campo
Reconectadores de Redes de Distribución (Sistema de	3 meses	Verificar: - Tensión de alimentación de la estación en CC. - # de veces que la línea de distribución que alimenta el	Normas NERC Fabricante equipos Experiencia del personal de campo

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
Protección alimentado en CC con baterías)		transformador de alimentación del reconectador presente desconexión.	
	6 meses	Limpieza y de requinte de borneras Verificar: - Voltaje nominal de la batería. - Voltaje nominal de la alimentación AC.	Normas NERC Experiencia del personal de campo

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		- Continuidad de la batería. - Resistencia de conexión del terminal de la batería. - Interconexión de la batería o resistencia de conexión de unidad a unidad. - Estado físico de las cuchillas de barra, línea, by-pass. - Lectura de parámetros de configuración, Parametrización	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		del equipo. Inspeccionar: - Compruebe que la batería puede funcionar según se fabricó realizando una prueba de rendimiento o capacidad de rendimiento modificada de todo el banco de baterías. - Estado físico del gabinete de control. - Herrajes de	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		sujeción de los equipos. - Conexiones del sistema de puesta a tierra.	
	18 meses	Realizar: - Inyección secundaria para validar las funciones de protección. - Pruebas funcionales de control, protección y medida a SCADA.	Normas NERC Experiencia del personal de campo
		Verificar:	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
	9 meses	- Tensión de alimentación de la estación CC. - # de veces y horas que la subestación presente ausencia de tensión.	Normas NERC Experiencia del personal de campo
		Limpieza y requinte de borneras Verificar: - Voltaje nominal de la batería. - Voltaje nominal de la alimentación AC.	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
Reconectores Subestaciones (Sistema de protección alimentado en CC con Baterías)	18 meses	- Continuidad de la batería. - Resistencia de conexión del terminal de la batería. - Interconexión de la batería o resistencia de conexión de unidad a unidad. - Estado físico de las cuchillas de barra, línea y by-pass. - Lectura de parámetros de configuración, Parametrización	Normas NERC Experiencia del personal de campo

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		del equipo. Inspeccionar: – Compruebe que la batería puede funcionar según se fabricó realizando una prueba de rendimiento o capacidad de rendimiento modificada de todo el banco de baterías. - Estado físico del Gabinete de control. - Herrajes de sujeción de los	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		equipos. - Conexiones del sistema de puesta a tierra. Realizar: - Inyección secundaria para validar las funciones de protección. - Pruebas funcionales de control, protección y medida a SCADA.	
		- Verificar estado de la calefacción del armario de	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
Gabinetes de Agrupamiento y Tableros de Control, Protección y Medida de Subestaciones	18 meses	mando. - Comprobar que el armario no presente huecos por donde se puedan introducir animales, condenarlos en caso de existir. - Comprobar estado de las juntas, en el caso de estar quebradizas o acusen fisuras proceder a cambiarlas. - Comprobar el estado de la	Normas NERC Experiencia del personal de campo Nota: Cuando se valla a realizar algún mantenimiento en

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		iluminación del armario, reemplazar la lámpara cuando esta se encuentre averiada. - Comprobar que la cerradura del armario se encuentre en perfectas condiciones, reparar en caso de hallarse en mal estado. - Limpiar con brocha aislada las telarañas que se hallen dentro del	cualquier interruptor con mando a resorte se deberá primeramente destensar el resorte y retirar la alimentación eléctrica del motor.

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		armario y utilizar aspiradora. - Ajustar la tornillería en las borneras del armario. - Lubricar las partes móviles del mecanismo o engrasar donde sea pertinente, aplicando lubricantes recomendados por el fabricante. - Verificar el correcto funcionamiento del motor que	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		tensa el resorte. - Revisión, limpieza, lubricación y ajuste de mecanismos de apertura, cierre y disparo.	
		- Verificar estado de la calefacción del armario de mando. - Comprobar que el armario no presente huecos por donde se puedan introducir animales,	Normas NERC Experiencia del personal de campo

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
Gabinetes de Agrupamiento de Subestaciones Tipo Potrero	18 meses	condenarlos en caso de existir. - Comprobar estado de las juntas, en el caso de estar quebradizas o acusen fisuras proceder a cambiarlas. - Comprobar el estado de la iluminación del armario, reemplazar la lámpara cuando esta se encuentre averiada. - Comprobar que	Nota: Cuando se valla a realizar algún mantenimiento en cualquier interruptor con mando a resorte se deberá primeramente destensar el resorte y retirar la alimentación eléctrica del motor.

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		la cerradura del armario se encuentre en perfectas condiciones, reparar en caso de hallarse en mal estado. - Limpiar con brocha aislada las telarañas que se hallen dentro del armario y utilizar aspiradora. - Ajustar la tornillería en las borneras del armario. - Lubricar las	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		partes móviles del mecanismo o engrasar donde sea pertinente, aplicando lubricantes recomendados por el fabricante. - Verificar el correcto funcionamiento del motor que tensa el resorte. - Revisión, limpieza, lubricación y ajuste de mecanismos de apertura, cierre y	

MANTENIMIENTO COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL MEDIDA Y PROTECCIÓN			
ATRIBUTOS DEL COMPONENTE	MÁXIMO INTERVALO DE TIEMPO PARA INTERVENCIÓN POR MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	RECOMENDACIONES
		disparo.	
Medidores	2 años	- Cambio del medidor principal y respaldo por un medidor calibrado	Resolución CREG 038 2014 Acuerdo CNO 722 sustituido por Acuerdo 887 07/07/2016
	4 años	- Cambio del medidor principal y respaldo por un medidor calibrado	Resolución CREG 038 2014 Acuerdo CNO 722 sustituido por Acuerdo 887 07/07/2016

Teniendo en cuenta estas recomendaciones y debido a que el estudio se realiza en un sistema monitorizado, como es el caso de la subestación de energía eléctrica objeto de este proyecto, el mantenimiento predictivo es la clave fundamental para el óptimo funcionamiento del sistema. Luego de realizar las

inversiones en los equipos de control, el aprovechamiento óptimo de estos redunda no sólo en la amortización de la inversión realizada, sino en aumentar el ciclo de vida de los activos que se monitorizan y protegen, además de aumentar el rendimiento de los mismos, proporcionando una mejora global en el rendimiento del sistema. Esta mejora está encaminada a una mayor eficiencia de los costos y a mejorar la calidad del suministro.

Todo ello pasa por realizar una óptima utilización de la información que se recoge en el centro de control. El objetivo de dicha información debe ser la planificación de las acciones de mantenimiento predictivo de los activos de la compañía.

Es necesario establecer mecanismos de control con la sensibilidad suficiente para detectar los posibles fallos en los equipos y las necesidades que surgen para el mantenimiento. Estos mecanismos de control deben ser aplicados de manera continua a los valores de los parámetros que están siendo registrados.

4.3 MANTENIMIENTO COMO CENTRO DE LUCRO

Lo primero que se debe comprender en el tema de mantenimiento, es que con este no se busca reducir el costo de los mantenimientos, sino aumentar la rentabilidad de las inversiones de la empresa a través de mejoras en los mantenimientos. en los cuales se adopten los conceptos del corto, medio y largo plazo.

Si se analiza el sistema basados en un mantenimiento centrado en confiabilidad como lo es el RCM 2 (al que se pretende llegar en un largo plazo), es posible que se puedan detectar más fácilmente todas las fuentes de costos consecuencia de los fallos.

Hay unos tipos de consecuencias que reconoce el RCM 2 como son:

Primero, se analizan los fallos ocultos, los cuales no tienen consecuencias directas en las operaciones cuando aparecen por sí solos, pero es posible que se incremente el riesgo de múltiples fallos y el incremento de estos fallos tiene consecuencias que son generalmente mucho más graves que el mismo fallo

oculto. También es necesario recordar que a medida que se sofistican las máquinas, se aumenta la posibilidad de tener fallos ocultos.

Luego aparecen los fallos con secuelas sobre el medio ambiente y la seguridad que a pesar de ser más graves que los fallos ocultos por la secuencia lógica del RCM 2 vienen después de estos.

Finalmente se llega a las consecuencias operacionales, estas son las que ocasionan pérdidas de volumen de producción, y/o pérdidas de calidad, y/o deterioro en el servicio al cliente, y/o mayores costos (objeto del presente estudio). Debido a que solo en enero del año 2018 los indicadores SAIFI y SAIDI por parte de esta subestación tienen un aporte del 5.34% y 6.60% respectivamente, con afectaciones a más de trescientos mil usuarios, en esta subestación y más de un millón de usuarios contando las restantes subestaciones (información suministrada por la empresa prestadora del servicio bajo estudio).

Esta síntesis hace que se deba tener en cuenta algunas variables de costo de las cuales no se puede omitir ninguna.

Analizando por ejemplo que existiera algún tipo de técnica o procedimiento con el que se pudiera llegar a grandes mejoras con solo introducir una o unas pocas medidas correctivas, se deduciría que: o hay algunos desvíos que son demasiado obvios que requieren una solución inmediata, o que se ha descubierto un procedimiento que funciona como magia. La primera alternativa es posible que a veces puede darse, pero la segunda desafortunadamente no hace parte de las soluciones lógicas, por lo tanto, queda el trabajo constante de obtener resultados importantes como sumatoria de una cantidad de mini-economías puntuales.

4.4 SUMATORIA DE MINI ECONOMÍAS

Se puede ver cómo es posible por medio del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM 2, que se debe minimizar la sumatoria de costos,

consecuencias de fallos de maquinaria o equipos, y al mismo tiempo conocer su magnitud.

Debido a que el RCM 2 determina los modos de fallo probables y elige para cada uno de ellos las tareas de mantenimiento beneficio/costos más eficientes, cada modo de fallo brinda una potencial economía. Potencial, pero al mismo tiempo cierta.

Si se pone como ejemplo que en una subestación mediana como la que se está evaluando, se puedan llegar a dar a lo largo de la implantación integral del RCM 2, una cantidad innumerable de modos de fallo, cuatro mil por poner un ejemplo (debido a la cantidad de fallos operacionales que pueden tener los equipos y la cantidad de fallos ocultos que cada uno de estos tendría, se tendría que hacer un análisis detallado para poder llegar a una cifra concreta). Suponiendo que la mitad de ellos no ofrezcan grandes beneficios, pero que los restantes 2000 (dos mil) sí, y que en promedio cada modo de fallo de éstos últimos, correctamente analizado admite una economía anual de tan solo US\$ 300, ya se habría generado una economía real y demostrable de US\$600.000 / año.

Para explicarlo más fácilmente se pone un caso:

Caso 1: Un modo de fallo tradicionalmente se maneja con un mantenimiento preventivo. En el análisis grupal de RCM 2 se puede determinar que existe un mantenimiento PREDICTIVO que es posible realizar técnicamente y que vale la pena.

Se llega a la conclusión que el mantenimiento preventivo requiere el recambio de una pieza cada seis meses.

Esta tarea determina 5 horas de trabajo cotizadas a (US\$10) /hora y un repuesto que cuesta (US\$300), es decir que cada vez que se ejecuta la tarea, su costo es de (US\$ 350), y como se realiza dos veces por año, el costo anual de este mantenimiento preventivo es de $(2 \times \text{US\$}350) = (\text{US\$}700)$, el mantenimiento

PREDICTIVO por el cual se propone reemplazarlo, permite esperar un MTBF (Tiempo Medio Entre Fallos) de ocho meses. Por consiguiente, el reemplazo A CONDICIÓN de que aparezca el Fallo Potencial, ocurrirá en promedio 1,5 veces por año.

El costo del reemplazo sería idéntico cada vez, ya que requerirá la misma mano de obra y el mismo repuesto. Ahora el costo anual será de $(1,5 \times \text{US\$}350) = (450)$, o sea US\$ 250/año menos que históricamente. Un muy modesto ahorro, pero uno de varios miles.

Caso 2: Un modo de fallo se realiza con mantenimiento correctivo (es decir no se hace nada para prevenirlo, y se repara cuando se produce). Al proceder de esta manera, la mano de obra requerida es de 5 horas, y los repuestos cuestan US\$300. Ya se sabe que sea correctivo o predictivo, estos costos son los mismos. Sin embargo, cuando se hace el correctivo, se incurre en los siguientes costos adicionales:

habrá un tiempo de pérdida de producción que o bien producirá LUCRO CESANTE por pérdida de producción y venta (real en este caso).

Estos costos adicionales se calculan y dan un valor US\$ 0.16kW/hora - por cada vez que ocurra el modo de fallo y por el tiempo que dure el fallo. Al descubrir un mantenimiento PREDICTIVO, esta diferencia será ahorrada, ya que permite reasignar con tiempo para evitar la indisponibilidad, antes de proceder a la reparación PROGRAMADA, a condición. Puesto que se trata de un fallo que ocurre en promedio tres veces por año, la economía anual resulta de US\$ 0.48kW/hora.

Seguramente no son logros impactantes. Pero si lo sería la sumatoria de miles de casos a los que se puede llegar detectando fallos ocultos para hacer un mantenimiento predictivo como los ejemplificados.

En la siguiente imagen se muestran los datos de DNA (Demanda No Atendida) para el año 2017 por la salida de servicio de la subestación de energía eléctrica bajo estudio.

Figura 10 Eventos presentados usuarios en 2017

Codigo Tipo de usuario	Tipo de usuario	DNA en kW/h	Valor promedio kW/h	Costo DNA
CR6	Comercial Estrato 6	53287.030	430	\$ 22,913,422.74
RS3	Residenciales Estrato 3	47933.168	430	\$ 20,611,262.36
RS2	Residenciales Estrato 2	42834.853	430	\$ 18,418,986.99
GI6	Gran industria	27650.916	430	\$ 11,889,893.89
RS1	Residenciales Estrato 1	20993.279	430	\$ 9,027,110.03
RS4	Residenciales Estrato 4	14023.773	430	\$ 6,030,222.28
OC	OTRO COMERC	11200.806	430	\$ 4,816,346.58
ID6	Industrial	6662.465	430	\$ 2,864,860.01
PR6	Provisional	2607.583	430	\$ 1,121,260.77
OF6	Oficial	2441.408	430	\$ 1,049,805.46
CE6	Comercial Exenta Estrato 6	2079.673	430	\$ 894,259.26
IX6	Industrial Exenta	1493.545	430	\$ 642,224.39
EE6	Especial Educativo	997.428	430	\$ 428,893.85
EA6	Especial Asistencial	953.678	430	\$ 410,081.53
AC6	Area Comun	228.609	430	\$ 98,301.79
AC5	Area Comun	111.109	430	\$ 47,776.90
RS6	Residenciales Estrato 6	77.285	430	\$ 33,232.35
RS5	Residenciales Estrato 5	67.179	430	\$ 28,887.12
CE4	Comercial Exenta Estrato 4	29.636	430	\$ 12,743.42
IA6	Industrial Bombeo	6.662	430	\$ 2,864.53
BE6	Bombeo Exenta	3.133	430	\$ 1,347.00
AC4	Area Comun	2.576	430	\$ 1,107.67
CR2	Comercial Estrato 2	0.740	430	\$ 318.10
			Total	\$ 101,345,209.01

Cabe aclarar que los fallos no son exclusivos del equipo de control, medida y protección, pues en los eventos ocurridos en este periodo el sistema actuó ante diferentes situaciones que causaron los eventos, como son las condiciones atmosféricas, fallos operacionales en equipos diferentes a los del sistema de control, medida y protección que hace que estos actúen para proteger los propios equipos y el sistema en general.

Sin embargo, debido al estado de la gran mayoría de equipos de control medida y protección que se encuentran en las subestaciones y de los cuales no se tiene información de mantenimiento, ni de puesta en servicio, se debe esperar que estos fallen, pues sería crítico intervenirlos sin datos históricos de fallos, por tanto

se debe tomar el año cero para la implementación del plan de mantenimiento en el momento de ser instalados los nuevos equipos como se ha venido haciendo con los equipos que se han reemplazado.

No es el objeto presentar aquí una cantidad de posibles alternativas. Lo que se quiere mostrar en este caso es la filosofía de la necesidad y utilidad de resolver cada uno de los modos de fallo con la solución beneficio/costo más eficaz, pues es la sumatoria la que generará grandes beneficios.

Se pueden recordar algunos casos frecuentes en forma genérica:

- 1) Un mantenimiento preventivo que genera un costo anual más alto que dejar que el componente y/o equipo falle.
- 2) Un mantenimiento correctivo que puede ser ejecutado por el mismo operador, en lugar de esperar al personal técnico y distraer tiempo de mano de obra de mayor costo y que puede ser mejor aprovechado en otra tarea de mantenimiento beneficio costo más eficaz (cabe la posibilidad de usar el teletrabajo)
- 3) Un mantenimiento predictivo que evita fallos de calidad sobre cualquier elemento entre controles sucesivos de calidad.
- 4) Un mantenimiento correctivo que implica costos suficientemente altos como para justificar debidamente un rediseño del sistema
- 5) Un fallo oculto que si no es detectado a tiempo podría generar consecuencias de muy alto costo, totalmente evitables con la detección temprana. (Búsqueda de fallos).
- 6) Una frecuencia de mantenimiento preventivo mayor a la que se necesita realmente, como ejemplo ("total de solo 10 minutos y un repuesto de US\$ 4) pero se hace mensualmente sobre cien elementos iguales, resultando US\$ 4.800/año, cuando la frecuencia más correcta determinada por el análisis RCM pasa a bimestral (en lugar de mensual), ahorrando US\$ 2.400/año.

- 7) Un mantenimiento preventivo que no es viable técnicamente en términos de RCM 2 porque el componente que falla no tiene una vida útil definida, es decir que no responde al patrón de fallo tradicional de vida útil, o no es coherente, o no es conocido (en el caso de algunos equipos de protección instalados en las subestaciones de los cuales no se tienen datos relevantes de mantenimiento ni de su puesta en servicio).
- 8) Un mantenimiento preventivo que pone en riesgo (o arriesga desestabilizar) un proceso en funcionamiento de régimen normal.
- 9) El recambio preventivo de una pieza que de hecho presenta una alta probabilidad de "mortandad infantil".

Por lo tanto, cada uno de esos miles de casos, lleva implícito un costo que debe y puede ser minimizado, porque la sumatoria de estos lleva a números muy significativos.

No se calcula solamente el costo del “mantenimiento” sino el monto total de la consecuencia económica que trae el fallo, que es lo que realmente interesa.

Es posible que se tengan dificultades a la hora de justificar económicamente ante la dirección de la Empresa, la necesidad de realizar un mantenimiento adecuado, es posible encontrarse con personas que manifiesten cómo se va a poder valorar una avería, si con el mantenimiento realizado ya no se produce esa avería, o que se diga que se ha gastado demasiado en mantenimiento, pero no se ve el ahorro debido a que no ha sucedido la avería.

Entonces, para poder cuantificar el beneficio obtenido y poder facilitar esta justificación, se debe cambiar el concepto de ahorro del costo por avería y se va a utilizar el de beneficio por reducción de las averías y el aumento de la producción, en este caso de confiabilidad y disponibilidad del sistema. Es decir, en lugar de hablar del ahorro que se puede conseguir por realizar un mantenimiento adecuado y evitar las averías, se va a enfocar como el dinero que se deja de ganar por pérdida de disponibilidad, debido a las averías por no realizar un mantenimiento realmente adecuado.

Con este concepto que es más objetivo, debido a que se parte del dato de la media de horas mensuales de indisponibilidad debida a averías y, una vez se realizan las mejoras de mantenimiento, se tendrá el dato del porcentaje de disminución de dichas horas.

Se parte del hecho de que se dispone de un histórico de averías, por lo que se conoce cuál es la media mensual de tiempo de indisponibilidad por avería. Por lo tanto, si con una mejora del plan de mantenimiento se logra reducir un porcentaje de esa media de tiempo, entonces se aumentará el tiempo de disponibilidad, por lo que la empresa obtendrá más dinero por demanda atendida.

También se pueden utilizar algunos valores como son:

- El costo de avería, compuesto por:
Costos de mano de obra.
Material empleado en la reparación y/o el costo del repuesto.
Costos de recursos adicionales (como por ejemplo el uso de un camión grúa).
- El tiempo de indisponibilidad, que incluye:
Tiempo de reparación de la avería, Tiempo de reacción, debido a que el personal normalmente no se encuentra en el sitio (se puede estar hablando de un tiempo estimado de dos o tres horas dependiendo del lugar de la falla y las condiciones de acceso al mismo), Tiempo de puesta en marcha, (dependiendo del tipo de afectación, este tiempo puede ser de varias horas).

Y se tendrán en cuenta los siguientes conceptos:

Costos de indisponibilidad por avería: dinero que se deja de ganar por producirse una avería y perder tiempo de demanda atendida (kW/hora).

Costos de avería: dinero que cuesta la reparación del equipo.

4.5 SISTEMA DE MANTENIMIENTO ÓPTIMO

Al tener en cuenta estos parámetros a la hora de implementar un sistema de mantenimiento lo más normal es preguntarse si existe un tipo de mantenimiento que sea el más adecuado.

Actualmente no es viable que deba existir un sistema idóneo, es decir, de acuerdo a la experiencia del equipo de trabajo, lo adecuado sería una combinación de sistemas en función de los requisitos exigidos, debido a la complejidad de los equipos y las funciones de cada uno, dependiendo del tipo de equipo que se esté midiendo, monitoreando y/o controlando.

No es aconsejable implementar sistemas de mantenimiento que requieran un tiempo considerable a la hora de implementarlos y los resultados no son realmente rentables. Es preferible comenzar con un análisis más sencillo para posteriormente ir optimizándolo.

La primera tarea a realizar es un análisis de los equipos a mantener, teniendo en cuenta su criticidad. Después analizar el costo y el tiempo de reparación del equipo y la accesibilidad para realizar una reparación en el sitio. De esta forma se podría determinar también qué equipos son críticos.

Al analizar la criticidad, se ve que tipo de mantenimiento necesita cada equipo, con esto se pretende lograr un mayor rendimiento económico y un mejor aprovechamiento del tiempo. Se busca eliminar los trabajos innecesarios y evitar duplicidades.

Tras realizar este análisis, se tendrá un listado de equipos críticos y otro de no críticos o al menos que no tengan una alta incidencia en la operación del sistema.

En los equipos críticos por alta incidencia en el proceso, se estudiarán las medidas a tomar de cara a un mantenimiento predictivo para poder minimizar las intervenciones, rutas de inspección, toma de datos (Funcionamiento de entradas y salidas, tensiones, desconexiones, ...), monitorización de datos y análisis de tendencias, ...

Si un equipo es de difícil acceso para su sustitución o tiene un costo alto de reparación, se debería plantear si necesita un mantenimiento preventivo o si se puede utilizar alguna herramienta de predictivo para minimizar las intervenciones.

En los equipos de bajo costo y baja influencia en la subestación, no será necesario implementar planes de mantenimiento preventivo y simplemente se limitará a un mantenimiento correctivo, cuando el equipo falle se sustituye, pues en este caso el costo de reparación o sustitución es menor que el de mantenimiento.

También se puede involucrar a otros departamentos en las tareas de mantenimiento con un sistema TPM, en función de la carga de trabajo se verá la necesidad del nivel de implementación, pero algunas tareas pueden y deben ser asumidas perfectamente, con esto se darán buenos resultados a la hora de detectar y evitar averías, el personal de operación y mantenimiento es el que mejor conoce el funcionamiento de los equipos y el que puede prevenir las averías con mayor facilidad.

Una vez implementado el sistema de mantenimiento y tras un periodo de funcionamiento de los equipos, se podrán analizar los fallos repetitivos y buscar las causas para eliminarlas, realizando un RCM o proactivo.

En resumen, en un sistema de mantenimiento óptimo, normalmente la mayor parte de las tareas de mantenimiento serán preventivas, aunque parte de estas pueden ser realizadas por producción (TPM), otra parte será de correctivo y otra de predictivo. Más adelante, con el historial de mantenimiento y funcionamiento de los equipos, se podrán eliminar las causas de los fallos (proactivo, RCM).

4.6 OBJETIVOS A CONSEGUIR CON EL PLAN DE MANTENIMIENTO RECOMENDADO

- Minimizar actuaciones correctivas.
- Aumentar disponibilidad de los equipos.
- Alargar la vida de los equipos.
- Creación de un sistema de codificación para equipos y repuestos.
- Mejora de la gestión de equipos y repuestos.

4.7 PROCESO DE DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Para la implementación del plan de mantenimiento se debe tener un diseño detallado de las acciones a realizar para un óptimo funcionamiento del mismo desde la parte documental hasta la ejecución de las tareas en todos los niveles. A continuación, se enumeran en forma general los aspectos más importantes a la hora de implementar un plan de mantenimiento.

1. Análisis de los equipos existentes y de su funcionamiento.
2. Revisión de las pautas de mantenimiento indicadas en la documentación de los equipos y verificación en campo.
3. Revisión del histórico de información existente de intervenciones de mantenimiento
4. Propuesta de plan de mantenimiento (documentos necesarios, sistema de codificación, tipos de mantenimiento,).
5. Diseño del sistema de codificación de equipos y de repuestos.
6. Diseño de los planes de mantenimiento (preventivo y rutas de inspección).
7. Presentación del plan de mantenimiento, sugerencias de áreas de mejora y recomendaciones de equipos de inspección.

1.6.2 Plan De Mantenimiento. Documentos diseñados:

Hoja de solicitud de orden de trabajo: hoja a complementar para solicitar la intervención en un equipo o bien para comunicar una anomalía del equipo. Es imprescindible la colaboración del personal para detectar posibles averías y mantener los equipos en óptimas condiciones.

Hoja de orden de trabajo de mantenimiento preventivo o planificado: en este formato se detallan las tareas de mantenimiento preventivo a realizar en un equipo, así como los materiales y repuestos a utilizar. Se deben incluir fotos de detalle para facilitar la ejecución de los trabajos. En este formato también se incluyen rutas de inspección de carácter predictivo.

Establecer tareas a realizar con equipos en parada y en marcha. Marcación de diferentes frecuencias para diferentes trabajos (semanal, mensual, trimestral,). Dividir las tareas en mecánicas, eléctricas y de limpieza. También especificar trabajos a realizar por empresas externas.

Realizar una serie de sugerencias para áreas existentes que puedan ser mejoradas:

Identificación de repuestos y consumibles y determinación de la ubicación de almacenamiento.

Hojas de seguridad y fichas técnicas fácilmente disponibles.

Hay que tener en cuenta que un plan de mantenimiento ha de ser flexible y es necesario realizar un seguimiento del mismo para poder ajustarlo según las necesidades de mantenimiento.

El objetivo planteado con este plan de mantenimiento es mejorar el estado de los equipos y reducir el número de intervenciones por avería, mejorando por tanto la eficiencia de los mismos y aumentando la confiabilidad y capacidad de producción del sistema.

1.6.3 Codificación. A la hora de gestionar el mantenimiento se dispone de una herramienta muy útil como es la codificación, que en ocasiones no es utilizada adecuadamente y que a veces incluso ni se utiliza.

Por no utilizar un sistema de codificación, puede ocurrir que:

- No se sabe si se dispone de la documentación, o cuál es o donde se encuentra, perdiendo un valioso tiempo en localizar la información necesaria a la hora de reparar un equipo.
- No se puede encontrar con rapidez los equipos a la hora de realizar su mantenimiento.
- No se sabe si se tiene el repuesto adecuado o, si se tiene, no se sabe al equipo que pertenece o donde se encuentra en el almacén.
- No se dispone de un histórico de reparaciones o de compras, por no saber cómo asignarlo al equipo correspondiente.

Para el sistema de codificación se recomienda utilizar un sistema alfanumérico:

- Equipo: 8 dígitos con los que se refleje la ubicación del equipo en la subestación (2 primeros dígitos), la sección dentro de la subestación (2 dígitos), el tipo de equipo (2 letras) y un número de orden para su situación en el equipo (2 dígitos).
- Planes de trabajo: 8 dígitos en los que se indica, con el primer dígito el nivel de mantenimiento a realizar (1 o 2 nivel), con una letra se especifica el tipo de mantenimiento (Mecánico, eléctrico, Limpieza,), identificación del equipo (4 dígitos) y los 2 últimos dígitos para indicar el número de orden del plan.
- Repuesto: 8 dígitos, en los que la primera letra indica el tipo de repuesto (mecánico, eléctrico,), con otras dos letras se indica la denominación del repuesto (Tarjeta, Relé, Lubricante, Medidor,), 3 dígitos para indicar la sección en la que se ubica el equipo y 2 dígitos para el número de orden del equipo.

Gracias a la codificación se podrían controlar los siguientes ítems:

- **Documentación:** Identificar el tipo de documentación (ficha técnica, plano, despiece, esquema eléctrico, manual,), su ubicación y la asignación al equipo correspondiente.
- **Repuestos:** Tipo de repuesto (mecánico, eléctrico, instrumentación,), si es reparable o es un consumible, la asignación al equipo o equipos adecuados, trazabilidad, desde el momento de la compra, pasando por el almacenamiento, a la utilización en el consumo o en la reparación del equipo.
- **Equipos:** Ubicación, definición de operación (a qué zona y sección pertenece), tipo de equipo. Histórico de reparaciones, tareas de mantenimiento a realizar, características técnicas, asignación de documentación y repuestos.

Indudablemente se invertirá un tiempo considerable a la hora de la creación del sistema de codificación y de la codificación en sí, pero se rentabilizará con el ahorro de tiempo en cualquier tipo de operación posterior.

1.6.4 Tipos De Mantenimiento. El objetivo del mantenimiento es anticiparse y eliminar averías de los equipos, planificando las intervenciones con el fin de incrementar la disponibilidad de producción. El mantenimiento es la inversión necesaria para evitar costos innecesarios.

A la hora de realizar el mantenimiento nos encontramos con distintos tipos de mantenimiento, sus principales características son:

Correctivo:

- Es reactivo, solo se actúa cuando el equipo falla.
- Provoca paros inesperados de los equipos, lo que supone una pérdida considerable en este caso de disponibilidad del servicio.

- En muchas ocasiones el equipo queda inservible o la reparación es muy costosa.
- Suelen ser intervenciones de larga duración.
- La carga de trabajo es muy irregular.
- Costo muy elevado.

Preventivo:

- En ocasiones puede provocar un nuevo problema, se revisa, aunque no haga falta.
- A veces el momento de intervención no es el adecuado, puede ser disruptivo.
- Supone un elevado número de intervenciones.
- Disminuye el número de averías inesperadas.
- Costo elevado.

Predictivo – MBC (Mantenimiento Basado en Condición):

- Se miden parámetros que definan el estado de los equipos con el fin de seguir su evolución.
- Se pretende detectar qué equipos están desarrollando problemas, con qué rapidez y cuáles son esos problemas.
- Permite planificar la intervención según el estado y los recursos necesarios (repuestos, herramientas, personal y seguridad) para la misma. Intervenciones más eficientes.
- Permite una mejor coordinación con la disponibilidad.
- Disminuye el número de intervenciones.
- Prolonga la vida útil de la maquinaria.
- Reduce tiempos y costos de reparación.

- Reduce el stock de repuestos.

Proactivo – RCM (Mantenimiento Basado en la Fiabilidad):

- Se pretende evitar las causas del fallo.
- Se busca monitorizar para corregir las causas del fallo.
- El objetivo es realizar menos mantenimiento.
- No hay uniformidad de las tareas, ni cuantitativa ni cualitativamente.
- Reduce al mínimo los costos.

TPM (Producción realiza las tareas de Mantenimiento):

Desde el punto de vista personal el sistema idóneo de mantenimiento es una combinación de sistemas en función de las necesidades. A la hora de implementar un sistema de Mantenimiento es necesario un compromiso a todos los niveles, desde la Dirección hasta los empleados.

1.6.5 Potencial De Ahorro Del Mantenimiento. Habitualmente el mantenimiento se ha visto como una fuente de gastos, sin embargo, es necesario cambiar este tipo de visión por la de inversión necesaria para evitar costos innecesarios.

Para poder ver un ahorro en el tema de mantenimiento se debe ampliar la visión y no fijarse en el corto plazo (costo inicial), se debe fijar en el medio plazo y analizar los resultados de las acciones del mantenimiento (costo evitado). En muchas ocasiones se puede conseguir que el costo del mantenimiento quede amortizado con la primera avería que se logre evitar.

Cuando no existe un plan de mantenimiento preventivo, las acciones que se realizan son de orden correctivo, es decir, tan solo se interviene el equipo cuando se produce una avería, por lo que la planificación de las tareas es inexistente.

El tiempo invertido en estas intervenciones es muy alto. Si se valora el dinero que supone ese tiempo de pérdida de remuneración por indisponibilidad, se encuentra un elevado costo innecesario que puede ser reducido.

Como consecuencia de la falta de mantenimiento, existe un deterioro prematuro de los equipos, así como un funcionamiento inadecuado de los mismos.

Los objetivos que se pretenden lograr con el plan de mantenimiento son:

Minimizar actuaciones correctivas: no depender del equipo y decidir cuándo conviene intervenir para realizar el mantenimiento, pudiendo planificar adecuadamente, tanto las tareas como los recursos necesarios.

Aumentar disponibilidad del equipo: aumentar la capacidad productiva de los equipos lo que supondrá una mejora de la eficiencia y una mayor rentabilidad.

Alargar la vida de los equipos: mejorar la fiabilidad y lograr que puedan seguir funcionando adecuadamente el mayor tiempo posible sin necesidad de ser sustituidos por nuevos equipos.

Es decir, se habla concretamente de dinero, del ahorro que se puede obtener, de la mejora de la eficiencia y de mejorar la rentabilidad de la empresa.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 CONCLUSIONES

Luego de realizado el estudio al plan de mantenimiento actual se recomienda continuar con el mismo, debido principalmente a que se pueden observar algunas deficiencias que se tienen con lo relacionado al departamento de mantenimiento.

Uno de estos problemas, tiene que ver con la estructuración contable en lo que respecta al área de mantenimiento; debido a que, las cuentas usadas en la contabilización de costos, no hacen referencia específica a lo relacionado al mantenimiento preventivo y al mantenimiento correctivo de los equipos de control medida y protección; no se puede definir específicamente el equipo que fallo, lo cual dificulta enormemente la realización de cálculos que permitan obtener información detallada de las cantidades invertidas en cada uno de estos tipos de mantenimiento.

En el reporte SAIDI y SAIFI tomado de la empresa bajo estudio se puede identificar un total de 16689 reportes de contingencias en el sistema en la subestación de energía eléctrica, de los cuales 552 fueron programadas es decir solamente el 3,3%, el 96,7% restante correspondió a eventos no programados, en el análisis de criticidad se puede observar que los relés a pesar de tener en su mayoría el valor más elevado de probabilidad de falla (5), no es claramente verificable que sean estos los equipos que están teniendo problemas, pues en el informe (anexo 1, eventos 2017) son las condiciones atmosféricas, las acciones de terceros, las catástrofes ambientales y los fallos en otros equipos asociados a estos los que han tenido los fallos y el relé actúa según sea su función para enviar la señal que actué ya sea despejando o reconectando el equipo asociado al fallo, por lo tanto es necesario realizar un análisis exhaustivo en el que se determinen los modos de fallo de cada uno de los componentes y/o equipos, iniciando con los que tienen un mayor índice de criticidad, pues podría darse que existan elementos que no necesiten protecciones tan sensibles que saquen de servicio el sistema.

Aplicando las estrategias de mantenimiento que se definan sólo a los equipos críticos seleccionados ya se incurre en un gran ahorro desde el punto de vista de indisponibilidad pues la demanda no atendida genera pérdidas de remuneración, además cómo las estrategias de mantenimiento que se definan luego de tener datos reales e históricos serán de aplicación al resto de los equipos, lo que en un futuro generara un ahorro mucho mayor en conceptos de mantenimiento para los equipos asociados a las subestaciones.

FRECUENCIA DE LAS INSPECCIONES

Considerando los posibles errores en la determinación de una estrategia de mantenimiento óptimo para cada uno de los equipos críticos, y mientras se tiene un historial de comportamiento de los equipos que están siendo instalados en la reposición y modernización actualmente realizada por parte del área de mantenimiento de control y protecciones se propone generar una serie de inspecciones de carácter preventivo, cada una de estas inspecciones corresponde a intervenciones que no incurren en la detención del equipo y/o sistema.

Es decir, pueden ser inspecciones físicas, visuales, auditivas además de la toma y análisis de datos de comportamiento del equipo ante cada una de las contingencias. Como propuesta, es posible considerar las tareas asociadas a los FMECA (Análisis de Modo de Fallo, Causa y Efecto) que impliquen sólo inspecciones de los componentes. Luego de definidas estas tareas, se puede calendarizar la aplicación de éstas basándose en la frecuencia de inspecciones estimada para cada equipo. Además, estas inspecciones corresponden a una alternativa complementaria de los programas de mantenimiento actuales y la corrección de fallas ocurridas esporádicamente.

Las inspecciones son de bajo costo debido a que no detienen el equipo y a que no es necesario incurrir en repuestos o fungibles. Sólo es necesario costear las horas hombre destinadas a la inspección de los componentes seleccionados en cada equipo.

Esto se debe hacer debido a que el mantenimiento actual es más correctivo que preventivo, para mitigar el impacto que esto genera se debe implementar un inventario de los equipos y/o componentes además de una serie de formatos que recopilen datos tales como fichas técnicas de los equipos que muestren la información relevante y necesaria para el área que se ocupa del mantenimiento, hojas de vida de los aparatos y/o equipos.

Además de esto se sugiere la reestructuración de la contabilización de lo relacionado al mantenimiento por el área de control y protecciones, para tener mayor acceso a toda la información que este implica y poder hacer un mejor análisis de ésta.

Al analizar los datos de costos sobre mantenimiento preventivo y correctivo entregados por la empresa es posible notar la falta de profundidad del registro y la asignación deficiente de los costos asociados. Luego, para calcular los costos de intervención para cada tipo de mantenimiento en cada equipo es necesario hacer suposiciones y estimaciones que posiblemente alejen los cálculos de los valores reales.

Una vez definidos los equipos o componentes críticos se pueden proceder al estudio de costos asociados. La selección del costo asociado más apropiado depende del caso de estudio, por lo que se debería tener uno para cada caso y este sería el modelo a implementar en cada uno de los componentes o sistema en cada una de las subestaciones.

Después de haber analizado la situación actual de la gestión de mantenimiento en el área de control, medida y protecciones de la empresa bajo estudio, se puede concluir que es necesario rediseñar el programa de mantenimiento preventivo, puesto que, el actual no contiene toda la información necesaria para hacer un análisis profundo y detallado de cada una de los componentes de protección del sistema. A su vez la escasez de formatos dificulta la recolección de datos necesarios e importantes que debe contener un buen programa de mantenimiento preventivo.

El mantenimiento de equipos, infraestructuras, herramientas, maquinaria, entre otros, representa una inversión que a mediano y largo plazo acarreará ganancias no sólo para el empresario a quien esta inversión se le revertirá en mejoras en la prestación del servicio y por lo tanto en la disminución de pérdidas por remuneración, sino también el ahorro que representa tener trabajadores sanos e índices de accidentalidad bajos.

Por otro lado, un buen de mantenimiento Preventivo exitoso en una empresa es vital para lograr la prestación de servicios de alta calidad y no menos importante para el control de costos y para asegurar al cliente que el servicio solicitado se realizará en el tiempo estipulado y según las especificaciones requeridas.

Es por todo lo anterior, que el interés es que la empresa cuente con un buen Programa de Mantenimiento que le permita mejorar aún más la calidad en sus servicios manteniendo equilibrio en la relación Costo-Beneficio.

En los últimos años la empresa ha adquirido nuevos equipos, gracias a la ejecución de grandes proyectos de modernización de la infraestructura en cada una de las subestaciones, que le exigen tener equipos disponibles en buen estado que garanticen la prestación de un servicio oportuno y de alta calidad, cumpliendo así con las exigencias de los clientes tanto internos como externos, cumpliendo con las metas establecidas con las personas, el medio ambiente, la calidad del servicio, la imagen de la empresa y la parte financiera, esto se puede evidenciar en la matriz de criticidad donde el porcentaje de cada uno de estos componentes es del 20% dándole igual importancia a cada uno, pero obviamente con impactos diferentes sobre el riesgo total dependiendo de los equipos y/o situaciones de riesgo que generen en cada uno de los ítems.

Es necesario también definir y estructurar un procedimiento de pruebas a los equipos por marca y proveedor para brindar la oportunidad de conocer el desempeño de cada protección antes de su implementación en el sistema y así poder escoger los equipos que sean más adecuados para el sistema eléctrico estudiado según la subestación y el área de influencia del mismo. Con lo cual se pretende aumentar la disponibilidad y confiabilidad no solo de los equipos de

protección, sino en el sistema en general; con los resultados del proceso de pruebas se puede generar un tipo de listado de los equipos que mejor cumplen con los requerimientos operativos y de protección, con esto se puede reducir el riesgo de adquirir un equipo, en este caso un relé con deficiencias de desempeño no previsible desde las especificaciones técnicas.

5.2 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Los resultados del análisis del presente trabajo serán presentados a la empresa bajo estudio con el fin de recomendar mejoras al plan de mantenimiento, para ello se tienen las siguientes consideraciones para trabajos futuros:

- Se recomienda rediseñar el plan de mantenimiento preventivo, con históricos propios de los equipos de control, medida y protección.
- Revisar la correcta parametrización de los relés de protección, los cuales no estén provocando operaciones erróneas que estén afectando los índices de calidad del servicio.
- Realizar una proyección Costo/Beneficio para el nuevo plan de mantenimiento de control, medida y protección, considerando históricos propios de los equipos.

BIBLIOGRAFIA

Análisis de criticidad [sitio Web] [consultada: 30 de marzo de 2018] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-o-pe>, 2018

Chihiro Fukui, et al, "An Expert System for Fault Section Estimation Using Information from Protective Relays and Circuit Breakers", IEEE Trans. on Power delivery, vol. 1, no

Comisión Venezolana de normas industriales. Mantenimiento definiciones. COVENIN 3049-93. 93-12-01. 20 p.

Crespo, A., Sanchez, Models for Maintenance Optimization. A. (2002).

DUFFUAA. Salih, RAOUF A, CAMPBELL, John "Sistemas de mantenimiento planeación y control". Editorial Limusa México (2008)

Ernesto Vázquez, et al, "Sistema de Diagnóstico de Ubicación de Fallas en Tiempo Real," Memoria Técnica del II Simposio Iberoamericano sobre Protección de Sistemas Eléctricos de Potencia, Monterrey, N.L., México, noviembre 1993, pp.202-214.

Ing. Andrey Vinajera Zamora e Ing Raynel Dominguez Martínez. Producción, procesos y operaciones julio 10 de 2010.

Lewis Blackburn, Protective relaying principles and applications, Marcel Dekker Inc., New York and Basel, 2007.

Mantenimiento. Solamente mantenimiento. [En línea] [Citado el: 05 de enero de 2018.] http://www.solomantenimiento.com/m_correctivo.htm.

Mora Gutiérrez, Luis Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control. Alfaomega Colombiana S.A., Bogotá, DC., 2009. 528 p. ISBN 978-958-682-769-0.

Norma técnica "Manual del proceso de mantenimiento de rutina" (2004). PDVSA MR-02-15-06

Perez Jaramillo, Carlos Mario. Gerencia de mantenimiento y sistemas de información, Soporte, 1992, 309 p.

Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica industrias AVM S.A. [Sitio Web]. Trabajo de grado [consultado: 10 diciembre 2017] Disponible en <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2004/112490.pdf>

RAMÍREZ ORTIZ, Jhon Jairo. JOLY BURGOS, María Helena. Diseño de un plan maestro de mantenimiento preventivo aplicado a los equipos de Fervill Ltda. Programa de administration industrial. Universidad de Cartagena. año 2005.

RODRIGUEZ, gestión del mantenimiento, 2008, 7, Espinoza, optimización del mantenimiento, espoch, pág. 54

SUAREZ, Diógenes y BRAVO, Darwin "Mantenimiento mecánico", Universidad de oriente. Venezuela (2008)

TAVARES, Augusto Laurival, Administración moderna de mantenimiento. [En Línea], 11 y 12 de mayo de 2009 [Consultado el 30 de marzo de 2018] Disponible en:<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/cap/cursos/uruman2009.pdf>

Thomas Dy Liacco, et al, "Processing by Logic Programming of Circuit-Breaker and Protective Relaying Information" IEEE Trans. on Power Apparatus and System, vol. PAS-88, no. 2 February 1969, pp. 171-175.