



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE CABLES SUBTERRÁNEOS DE MEDIA TENSIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL BLOQUE 31 OPERADO POR PETROAMAZONAS EP**

**AUTOR: WILLIAM FERNANDO TAYUPANTA ALBÁN**

**Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,  
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,  
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGISTER EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**Riobamba – Ecuador**

**Marzo 2017**



## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Proyecto de Investigación y desarrollo, titulado “**GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DE CABLES SUBTERRÁNEOS DE MEDIA TENSIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL BLOQUE 31 OPERADO POR PETROAMAZONAS EP**”, de responsabilidad del Sr. William Fernando Tayupanta Albán ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Tribunal:

---

Ing. PhD Fredy Proaño Ortiz  
**PRESIDENTE**

---

FIRMA

---

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos  
**DIRECTOR**

---

FIRMA

---

Ing. Hernán Edelberto Paucar Estrada  
**MIEMBRO**

---

FIRMA

---

Ing. Jorge Estuardo Freire Miranda  
**MIEMBRO**

---

FIRMA

Riobamba, 28 de marzo de 2017

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, William Fernando Tayupanta Albán, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

WILLIAM FERNANDO TAYUPANTA ALBÁN

120278062-1

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, William Fernando Tayupanta Albán, declaro que el presente Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, marzo de 2017

---

**WILLIAM FERNANDO TAYUPANTA ALBÁN**  
FIRMA  
CI: 120278062-1

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a mis Padres, mi Esposa y mis Hijas.*

**William**

## **AGRADECIMIENTO**

*Mi agradecimiento sincero a los Ingenieros: Marco Santillán, Hernán Paucar y Jorge Freire por su apoyo y tiempo dedicado a este trabajo.*

William

## TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN:.....	ii
DERECHOS INTELECTUALES.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xiii
LISTA DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi

## CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Problema de investigación.....	4
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i> .....	4
1.2.2 <i>Formulación del problema</i> .....	5
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i> .....	5
1.3 Justificación de la investigación.....	6
1.4 Objetivos de la investigación.....	7
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	7
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	7
1.5 Hipótesis.....	8
1.5.1 <i>Variable dependiente</i> .....	8
1.5.2 <i>Variable independiente</i> .....	8
1.6 Delimitación.....	8

## CAPÍTULO II

<b>2.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	9
<b>2.1</b>	<b>Mantenimiento</b> .....	9
<b>2.2</b>	<b>Gestión del mantenimiento</b> .....	9
<b>2.3</b>	<b>Tipos y modelos de mantenimiento</b> .....	11
<b>2.3.1</b>	<i>Tipos de mantenimiento</i> .....	11
<b>2.3.2</b>	<i>Modelos de mantenimiento</i> .....	13
<b>2.4</b>	<b>Evolución del mantenimiento para cables subterráneos</b> .....	16
<b>2.5</b>	<b>Tipos de mantenimiento aplicables a sistemas subterráneos</b> .....	17
<b>2.5.1</b>	<i>Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)</i> .....	18
<b>2.5.2</b>	<i>Mantenimiento según estado</i> .....	19
<b>2.6</b>	<b>Plan de mantenimiento</b> .....	20
<b>2.7</b>	<b>Herramientas para evaluación de la condición actual del mantenimiento</b> 21	
<b>2.7.1</b>	<i>Auditoria del mantenimiento</i> .....	21
<b>2.8</b>	<b>Sistema eléctrico</b> .....	22
<b>2.9</b>	<b>Cable subterráneo</b> .....	24
<b>2.10</b>	<b>Confiabilidad en cables subterráneos</b> .....	24
<b>2.11</b>	<b>Métodos para prevención y detección de fallos en cables subterráneos</b> ... 25	
<b>2.11.1</b>	<i>Descargas Parciales</i> .....	26
<b>2.11.2</b>	<i>Microscopía digital 3D</i> .....	26
<b>2.11.3</b>	<i>Rayos X</i> .....	26
<b>2.11.4</b>	<i>Very Low Frequency (VLF)</i> .....	27
<b>2.12</b>	<b>Técnicas para localización de fallos en cables subterráneos</b> .....	27
<b>2.12.1</b>	<i>Reflectometría en el dominio de tiempo (TDR)</i> .....	28
<b>2.12.2</b>	<i>Reflexión de arco</i> .....	29
<b>2.12.3</b>	<i>Reflexión de impulsos de corriente</i> .....	29
<b>2.13</b>	<b>Diagramas unifilares del sistema subterráneo en el Bloque 31</b> .....	32
<b>2.14</b>	<b>Características constructivas del cable subterráneo bajo estudio</b> .....	34
<b>2.15</b>	<b>Técnica para la elaboración de empalmes en cables subterráneos</b> .....	34
<b>2.16</b>	<b>Criticidad en sistemas eléctricos subterráneos</b> .....	35
<b>2.17</b>	<b>Tiempo de vida útil y costo del ciclo de vida</b> .....	36
<b>2.18</b>	<b>Riesgos eléctricos</b> .....	38



2.19	Riesgos asociados al ecosistema que rodea el cable subterráneo. ....	39
------	--	----

### CAPÍTULO III

3.	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b> .....	40
3.1	Tipo de investigación .....	40
3.2	Tamaño de la muestra .....	41
3.3	Método de investigación .....	41
3.3.1	<i>Investigar las técnicas preventivas y predictivas para cables subterráneos.</i> .	42
3.3.2	<i>Analizar alternativas para el mantenimiento de cables subterráneos.</i> .....	42
3.3.3	<i>Evaluar la condición actual del sistema de cableado subterráneo.</i> .....	42
3.3.4	<i>Evaluar el impacto ambiental, económico y a la seguridad que tendría una falla en el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31.</i> .....	43
3.3.5	<i>Diseñar un plan de Mantenimiento para los cables subterráneos.</i> .....	44

### CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	46
4.1	Matriz técnicas preventivas y predictivas para cables subterráneos.....	46
4.2	Condición actual del mantenimiento en el sistema eléctrico subterráneo.	47
4.2.1	<i>Resultados de la auditoria interna</i> .....	47
4.2.2	<i>Resultados de la encuesta</i> .....	50
4.3	Resumen de la situación actual.....	63
4.4	Impacto ambiental, económico y a la seguridad a causa de una falla .....	65
4.4.1	<i>Impacto ambiental</i> .....	65
4.4.2	<i>Impacto económico</i> .....	65
4.4.3	<i>Impacto a la seguridad</i> .....	66
4.5	Cálculo de la confiabilidad del sistema bajo estudio. ....	68
4.6	Validación de la hipótesis .....	70

### CAPÍTULO V

5.	<b>PROPUESTA</b> .....	72
----	------------------------	----

<b>5.1</b>	<b>Gestión del mantenimiento de cables subterráneos en el Bloque 31</b> .....	72
<b>5.2</b>	<b>Inventario de cables</b> .....	72
<b>5.3</b>	<b>Análisis de criticidad</b> .....	74
<b>5.4</b>	<b>Clientes internos del departamento de Mantenimiento</b> .....	77
<b>5.5</b>	<b>Plan de mantenimiento</b> .....	78
<b>5.5.1</b>	<i>Enfoque</i> .....	78
<b>5.5.2</b>	<i>Objetivo</i> .....	78
<b>5.5.3</b>	<i>Alcance</i> .....	78
<b>5.5.4</b>	<i>Aspectos generales</i> .....	78
<b>5.5.5</b>	<i>Manejo de la información</i> .....	79
<b>5.5.6</b>	<i>Cargos y Responsabilidades</i> .....	82
<b>5.5.7</b>	<i>Estructura del Departamento de Mantenimiento</i> .....	84
<b>5.5.8</b>	<i>Equipamiento necesario</i> .....	85
<b>5.5.9</b>	<i>Tareas de Mantenimiento</i> .....	85
<b>5.5.10</b>	<i>Información requerida</i> .....	87
<b>5.5.11</b>	<i>Flujo de ejecución</i> .....	89
<b>5.5.12</b>	<i>Instructivos</i> .....	94
<b>5.6</b>	<b>Control y mejora</b> .....	94
<b>5.6.1</b>	<i>Control y mejora del inventario de equipos a mantener</i> .....	94
<b>5.6.2</b>	<i>Control y mejora del análisis de criticidad</i> .....	95
<b>5.6.3</b>	<i>Control y mejora del plan de mantenimiento.</i> .....	95
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	96
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	97
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2</b>	Metas de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	19
<b>Tabla 2-2</b>	Niveles de voltaje en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano .....	24
<b>Tabla 1-4</b>	Matriz comparativa técnicas preventivas, predictivas y correctivas .....	47
<b>Tabla 2-4</b>	Resultados de la auditoria.....	48
<b>Tabla 3-4</b>	Detalle de cálculos.....	49
<b>Tabla 3-4</b>	Resumen. ....	64
<b>Tabla 4-4</b>	Eventos de afectación a la seguridad.....	67
<b>Tabla 5-4</b>	Matriz comparativa.....	71
<b>Tabla 1-5</b>	Codificación del cable subterráneo .....	73
<b>Tabla 2-5</b>	Criterios para evaluar la criticidad .....	75
<b>Tabla 3-5</b>	Análisis de criticidad .....	76
<b>Tabla 4-5</b>	Formato: Orden de Trabajo .....	79
<b>Tabla 5-5</b>	Formato: Registro e historial .....	80
<b>Tabla 6-5</b>	Formato: Gastos de mantenimiento.....	81
<b>Tabla 7-5</b>	Formato: Requerimiento de compra.....	81
<b>Tabla 8-5</b>	Cargos y Actividades Principales.....	82
<b>Tabla 9-5</b>	Equipamiento.....	85
<b>Tabla 10-5</b>	Clasificación de las tareas de mantenimiento.....	86
<b>Tabla 11-5</b>	Formato: Tareas de Mantenimiento.....	86
<b>Tabla 12-5</b>	Información Requerida.....	88
<b>Tabla 13-5</b>	Procedimiento Mantenimiento Preventivo.....	89
<b>Tabla 14-5</b>	Procedimiento Mantenimiento Correctivo .....	90
<b>Tabla 15-5</b>	Directrices Mantenimiento Preventivo.....	91
<b>Tabla 16-5</b>	Directrices Mantenimiento Correctivo.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura; 1-1</b>	Ubicación geográfica del Bloque 31 .....	1
<b>Figura; 2-1</b>	Conductor monopolar de aluminio, 750 kcmil.....	2
<b>Figura; 3-1</b>	Recorrido del cable subterráneo en el Bloque 31 .....	3
<b>Figura; 4-1</b>	Conductor tripolar de cobre, 750 kcmil.....	4
<b>Figura; 1-2</b>	Modelo de Gestion del Mantenimiento .....	11
<b>Figura; 2-2</b>	Elementos del sistema de gestión del mantenimiento .....	18
<b>Figura; 3-2</b>	Fases de la auditoría .....	22
<b>Figura; 4-2</b>	Partes constitutivas de un sistema eléctrico.....	23
<b>Figura; 5-2</b>	Curva entregada por el método de reflexión de arco.....	29
<b>Figura; 6-2</b>	Secuencia para localización de fallas en cables subterráneos .....	31
<b>Figura; 7-2</b>	Diagrama unifilar del sistema eléctrico subterráneo, etapa 1 .....	32
<b>Figura; 8-2</b>	Diagrama unifilar del sistema eléctrico subterráneo, etapa 2.....	33
<b>Figura; 9-2</b>	Empalmes termocontráctiles.....	35
<b>Figura; 10-2</b>	Ciclo de vida de un activo .....	37
<b>Figura; 11-2</b>	Costo del ciclo de vida.....	38
<b>Figura; 1-3</b>	Estructura del modelo de gestión planteado .....	45
<b>Figura; 1-4</b>	Resultados obtenidos de la evaluación del mantenimiento .....	49
<b>Figura; 2-4</b>	Afectación al momento de identificar una falla.....	65
<b>Figura; 1-5</b>	Estructura del modelo de gestión planteado .....	72
<b>Figura; 2-5</b>	Etapas del cable subterráneo.....	73
<b>Figura; 3-5</b>	Matriz de criticidad.....	74
<b>Figura; 4-5</b>	Representación gráfica criticidad sistema eléctrico subterráneo .....	77
<b>Figura; 5-5</b>	Organigrama Departamento de Mantenimiento Bloque 31.....	84

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>ACR</b>	Análisis Causa Raíz
<b>CMMS</b>	Computerized Maintenance Management System
<b>FMECA</b>	Análisis de Modo de Falla, sus Efectos y Criticidad
<b>EN</b>	Norma Europea
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Estandarización
<b>KPI</b>	Indicadores Claves de Desempeño
<b>MTBF</b>	Tiempo Medio Entre Fallas
<b>MTTF</b>	Tiempo Medio Para la Falla
<b>MTTR</b>	Tiempo Medio Para Reparación
<b>OT</b>	Orden de Trabajo
<b>RCM</b>	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad
<b>TPM</b>	Mantenimiento Productivo Total
$\lambda$	Tasa de fallos

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b>	Conductor monopolar de aluminio 750MCM, 69kV.....	102
<b>Anexo B.</b>	Conductor tripolar de cobre OKONITE 3/C 750 MCM 35kV.....	103
<b>Anexo C.</b>	Diagrama unifilar del sistema electrico del Bloque 31.....	104
<b>Anexo D.</b>	Guía para desarrollo de la auditoria interna.....	105
<b>Anexo E.</b>	Norma Venezolana COVENIN 2500-93 .....	109
<b>Anexo F.</b>	Resultados de la auditoría (Inicial) .....	112
<b>Anexo G.</b>	Encuesta al personal de Operaciones y Mantenimiento .....	118
<b>Anexo H.</b>	Instructivos.....	121

## **RESUMEN**

El proyecto Gestión del Mantenimiento de cables Subterráneos de Media Tensión en el Sistema Eléctrico del Bloque 31, se desarrolló en la provincia de Orellana, cantón Aguarico. El estudio tiene como base un enfoque del tipo exploratorio y alcanza un nivel descriptivo. Considera como punto de partida que los sistemas de cableado subterráneo se utilizan para la distribución de energía eléctrica en la mayoría de campos de producción petrolera, por ello resulta importante gestionar su mantenimiento de forma eficiente prolongando su tiempo de vida útil, sin afectar el ecosistema que lo rodea y siempre pensando en la seguridad del personal. Empieza con la investigación y clasificación de técnicas preventivas y predictivas existentes en nuestro medio. Se consideran herramientas como la auditoria interna y la encuesta para poder determinar la condición actual del mantenimiento obteniendo un nivel del 43% de efectividad que se considera inaceptable. Se evalúa el impacto que tendría una falla en el sistema eléctrico subterráneo y se plantean alternativas para gestionar su mantenimiento por medio de un plan de mantenimiento detallado y en lazo secuencial cerrado. Luego de la implementación del modelo de gestión se logra incrementar la efectividad hasta un nivel de 78.95%. Se logró incrementar el índice de confiabilidad del sistema desde el 47,4% inicial hasta el 78,1% actual. Se puede concluir que estos niveles obtenidos tanto en la efectividad del mantenimiento como en la confiabilidad del sistema actualmente son aceptables pero se recomienda continuar con el proceso de mejoramiento continuo y monitorear permanentemente los indicadores descritos en este modelo de gestión.

**Palabras clave:** <GESTIÓN DE MANTENIMIENTO>, <SISTEMA ELÉCTRICO>, <ORELLANA (PROVINCIA)>, <ECOSISTEMA>, <PLAN DE MANTENIMIENTO>, <MEJORAMIENTO CONTINUO> <AGUARICO (CANTÓN)>

## **ABSTRACT**

The medium-voltage underground cable maintenance management system in Block 31, was developed in Orellana province, Aguarico canton. This investigation was exploratory and descriptive. We know this system is used to distribute electrical energy in the most of oil enterprises, that is why it is important to manage its maintenance efficiently to extend its lifespan without affecting the surroundings and to ensure the staff. In this investigation, we used preventive and predictive techniques of our environment. Internal audit and survey were also considered to determine the current maintenance situation. A level of effectiveness of 43% was gotten, but it was no acceptable. The impact of a failure in the system was evaluated. Some alternatives were set out to manage its maintenance by means of a maintenance plan and in closed loop system. After implementing the management model, effectiveness increased up to 78.95%. Reliability also increased from 47.4% up to 78.1%. It is concluded that these results are acceptable. It is recommended to continue with the improvement process and to monitor the indicators proposed in this investigation permanently.

**Keywords:** <MAINTENANCE MANAGEMENT>, <ELECTRIC SYSTEM>, <ORELLANA (PROVINCE)>, <ECOSYSTEM>, <MAINTENANCE PLAN>, <CONSTANT IMPROVEMENT>, <AGUARICO (CANTON)>.

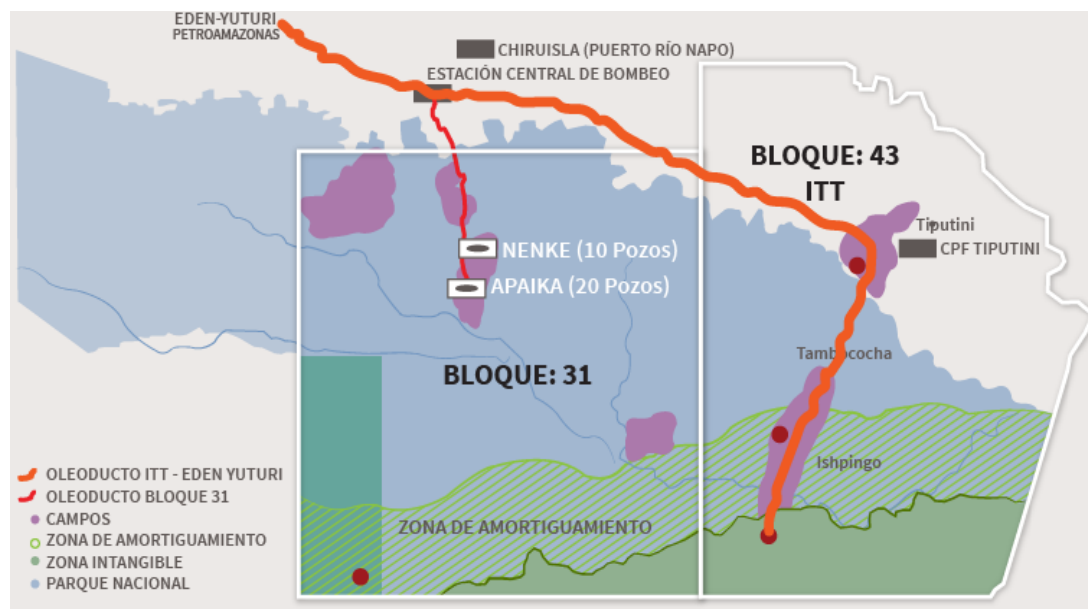


# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1 Introducción

El Bloque 31, se encuentra ubicado en la provincia de Orellana dentro del Parque Nacional Yasuní, que es una zona protegida que se extiende sobre un área de 9820 km<sup>2</sup> en las provincias de Pastaza y Orellana en plena cuenca amazónica ecuatoriana. Fue designado por la Unesco en 1989 como una reserva de la biósfera, es parte del territorio donde se encuentra ubicada la nación Huaorani y grupos en aislamiento voluntario en la zona noreste del Ecuador; tal como se indica en la figura 1-1.



**Figura; 1-1** Ubicación geográfica del Bloque 31

Fuente: Mapa petrolero Ecuatoriano, 2015

El sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31 cuenta con una longitud de sesenta (60) kilómetros, empieza en la planta de generación termoeléctrica EPF (Edén Production Facilities), ubicada en la plataforma de producción Edén Yuturi que tiene una capacidad de generación de cincuenta y siete (57) Megavatios.

El cable subterráneo avanza los primeros 35,5 kilómetros hasta la estación central de bombeo (ECB) por medio de tres (3) conductores monopolares de aluminio (Anexo A) calibre 750 kcmil, 69kV marca OKONITE.

Este cable, ilustrado en la figura 2-1 es fabricado en los Estados Unidos de Norteamérica.



**Figura; 2-1** Conductor monopolar de aluminio, 750 kcmil

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

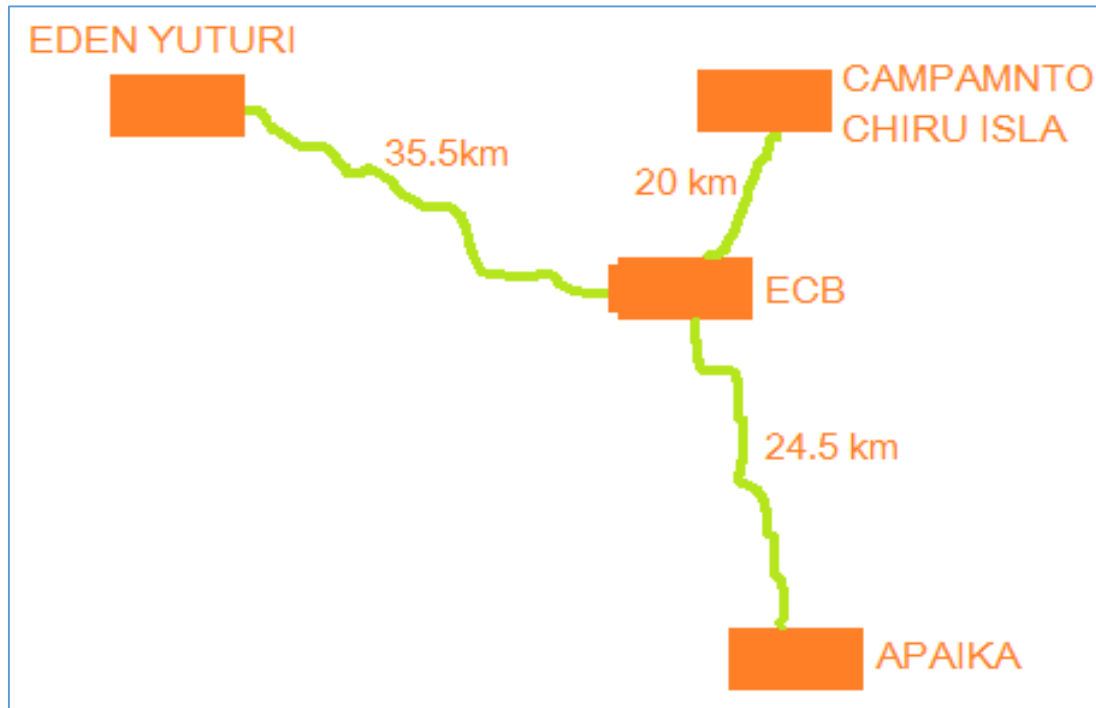
Desde la estación central de bombeo (ECB) el sistema de cableado subterráneo se divide en dos ramales indicados en la figura 3-1.

El primer ramal se dirige con dirección sur hasta la plataforma de producción Apaika con una longitud de 24,5 kilómetros con un cable OKONITE 3/C 750 kcmil 35kV (Anexo B).

Y otro que se dirige con dirección noreste hasta el campamento permanente Chiru Isla con un cable de similares características, OKONITE 3/C 750 kcmil 35kV y con una longitud de veinte (20) kilómetros.

La longitud total del cable subterráneo en su tramo más largo alcanza los sesenta (60) kilómetros desde la planta de generación Edén Yuturi hasta la plataforma de producción Apaika.

El diagrama unifilar del sistema eléctrico del Bloque 31 se detalla en el Anexo C.



**Figura; 3-1** Recorrido del cable subterráneo en el Bloque 31

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

En la figura 4-1 se puede observar las características constructivas del cable OKONITE 3/C 750 kcmil 35kV.



**Figura; 4-1** Conductor tripolar de cobre, 750 kcmil

Fuente: Okonite, Catálogo de productos 2015

## 1.2 Problema de investigación

Una de las principales características que tiene el Bloque 31 y su campo de producción APAIKA, es que dentro de su área de influencia no existen cables eléctricos aéreos que representen un peligro tanto para la población como para la fauna propia del lugar, todos los cables eléctricos de este campo de producción son subterráneos con un nivel de media tensión en 34.500 Voltios.

### 1.2.1 *Planteamiento del problema*

Considerando que el recorrido que lleva el cable subterráneo de media tensión está dentro del parque nacional Yasuní, que es una zona protegida por su alta biodiversidad, el hecho que se presente una falla en el sistema subterráneo puede llegar a ser catastrófico tanto para la empresa como para el ambiente y para el país.

- Para la empresa: una falla en el cable subterráneo implicaría pérdidas económicas de gran magnitud en vista que dejaría de extraer petróleo desde los campos de producción Apaika y Nenke que al momento producen un total de 25.000 barriles por día y la consecuente pérdida en su imagen y eficiencia empresarial. Una falla en el cable

subterráneo también representa un peligro para la integridad del personal que labora en la empresa.

- Para el ambiente: una falla en el cable subterráneo representaría un riesgo tanto por los daños propios de la falla (explosión, fuego, etc.) como por los daños ambientales que se provocarían al realizar grandes excavaciones de terreno para encontrar el punto exacto de una falla si no se cuenta con las herramientas adecuadas para localizarla.
- Para el país: también representa grandes pérdidas económicas si consideramos que Petroamazonas EP es una empresa pública y todos sus recursos son propiedad del estado Ecuatoriano.

Por todo lo antes expuesto, resulta importante gestionar el mantenimiento del sistema eléctrico subterráneo.

### 1.2.2 *Formulación del problema*

¿Cómo se puede mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico subterráneo, elevar el nivel de seguridad del personal y conservar el ecosistema del Bloque 31?

### 1.2.3 *Sistematización del problema*

Para poder solventar con éxito las interrogantes relacionadas con el problema de investigación planteado, es necesario definir ciertas necesidades previas como por ejemplo:

- Cuáles son las alternativas posibles en cuanto a mantenimiento
- Qué herramientas tecnológicas existen en nuestro medio para sistemas subterráneos
- Cuál es su posibilidad de implementación

- Evaluación de costos por fallos funcionales
- Estudio del ciclo de vida útil
- Análisis de la confiabilidad del sistema eléctrico subterráneo
- Técnicas para detección de fallas en cables subterráneos y su aplicabilidad en el sistema subterráneo del Bloque 31.
- Relación técnico-económica de la aplicación del mantenimiento a implementar.
- Cuáles son los efectos y consecuencias de una falla funcional.
- Evaluación de alternativas predictivas aplicables en este caso de estudio.
- Cuáles son los límites iniciales que nos alerten de un posible fallo funcional.

### **1.3 Justificación de la investigación**

Como parte de su política de calidad Petroamazonas EP trata de garantizar el funcionamiento continuo de sus líneas eléctricas en general por lo que, contar con un modelo de gestión del mantenimiento orientado a la prevención, predicción y localización de fallas, resulta ser una herramienta de mucha ayuda para evitar pérdidas prolongadas de producción.

La gran mayoría de cables de media tensión utilizados en aplicaciones subterráneas cuentan con certificaciones internacionales de calidad por lo que en nuestro país son considerados confiables, pero, resulta necesario implementar un método de verificación y análisis que nos ayude a gestionar y comprobar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo. Por esta razón resulta indispensable conocer e investigar acerca de nuevas técnicas para evaluación constante y diagnóstico anticipado de fallas que permitan minimizar el impacto ambiental y prolongar la vida útil del cable.

Si se evalúa el costo que representa implementar un sistema de cables subterráneos comparado con los tradicionales sistemas de cables aéreos, resulta una diferencia de hasta siete veces mayor el instalar un sistema subterráneo, por lo que es necesario garantizar su disponibilidad y confiabilidad, más aún en un área sensible como el parque nacional

Yasuní, en el cual una falla puede llegar a tener una connotación mayor, por tratarse de un área sensible y protegida.

Todos estos antecedentes demuestran que existe la necesidad de gestionar el mantenimiento de los cables subterráneos de acuerdo a las necesidades de la empresa por medio de una adecuada planificación y con la suficiente flexibilidad para ser replicada en otros campos de producción que también cuentan con cables subterráneos.

Más aún si consideramos que hasta los actuales momentos no se tiene registros que evidencien investigaciones de este tipo en ninguno de los campos de producción operados por la empresa.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### *1.4.1 Objetivo general*

Diseñar un Sistema de Gestión para el Mantenimiento de los cables subterráneos del sistema eléctrico del Bloque 31, con la finalidad de incrementar su confiabilidad, brindar protección al ecosistema que lo rodea y mejorar los niveles de seguridad del personal involucrado.

### *1.4.2 Objetivos específicos*

- Realizar el estado del arte que sustente teórica y conceptualmente la investigación.
- Realizar un diagnóstico que determine la condición actual del sistema de cableado subterráneo y su entorno.
- Diseñar un plan de Mantenimiento para los cables subterráneos.

## **1.5 Hipótesis**

El diseño de un sistema de Gestión para el Mantenimiento de cables subterráneos en el sistema eléctrico del bloque 31, permite incrementar la confiabilidad del cable subterráneo, mejorar el nivel de seguridad para el personal y proteger el ecosistema que lo rodea.

### *1.5.1 Variable dependiente*

En este proyecto de investigación se consideran tres variables dependientes: La confiabilidad del sistema, la seguridad del personal y la protección del ecosistema.

### *1.5.2 Variable independiente*

En este proyecto se considera como variable independiente al Sistema de gestión de Mantenimiento de cables subterráneos.

## **1.6 Delimitación**

El desarrollo del presente trabajo de investigación se delimita dentro del Bloque 31 operado por Petroamazonas EP en las provincias de Orellana y Sucumbíos, específicamente abarca el sistema eléctrico subterráneo de media tensión 34.5 kV en su recorrido de 60 km.

El enfoque para la gestión del mantenimiento del cable subterráneo se fundamenta en la planificación del mantenimiento, plan que detalla actividades, frecuencias, recursos y responsables de las actividades de mantenimiento.



## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

En la actualidad y a nivel mundial, el mantenimiento como estructura de apoyo ocupa un lugar fundamental dentro de las organizaciones y es visto como pieza clave en el desarrollo empresarial.

#### 2.1 Mantenimiento

El mantenimiento; según las normas europeas, es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, que están destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida. (UNE-EN 13306, 2011)

Desde este punto de vista el gestionar el mantenimiento resulta indispensable tanto a nivel industrial como residencial y comercial.

#### 2.2 Gestión del mantenimiento

Son todas las actividades de la gestión que determinan los objetivos del mantenimiento, las estrategias y las responsabilidades, y las realizan por medio de la planificación del mantenimiento, control, supervisión y mejora de los métodos en la organización incluyendo los aspectos económicos. (Fernández, 2015)

**Objetivos del mantenimiento:** Son las metas asignadas y aceptadas para las actividades de mantenimiento.

Estas metas pueden comprender, por ejemplo, la disponibilidad, la reducción de costos, la calidad, la protección al medio ambiente, la seguridad.

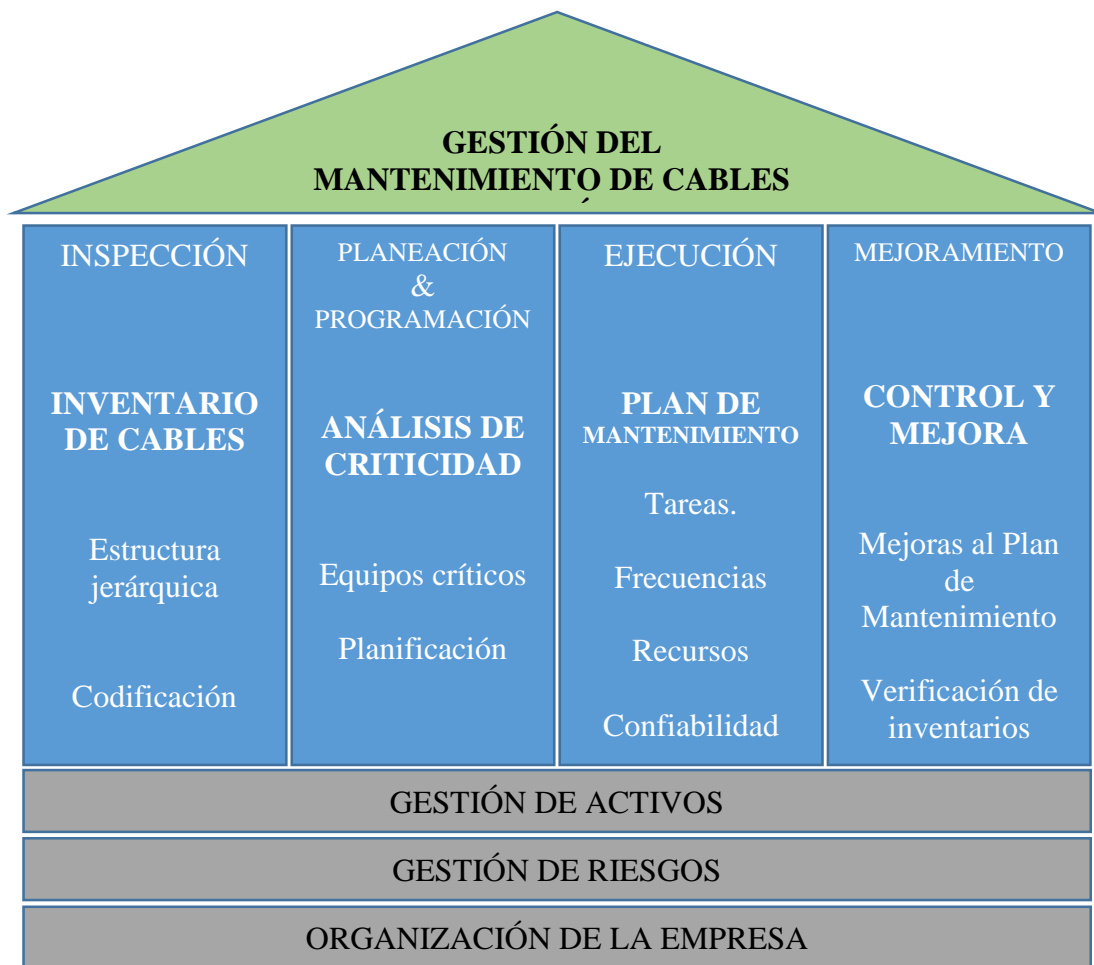
**Estrategia de mantenimiento:** Es el método de gestión utilizado con el fin de lograr los objetivos del mantenimiento.

**Plan de mantenimiento:** Es el conjunto estructurado de tareas que comprende las actividades, los procedimientos, los recursos y la duración necesaria para ejecutar el mantenimiento.

Entonces, la gestión del mantenimiento se la debe realizar considerando tres (3) aspectos fundamentales:

- Las empresas están en la obligación de bajar costos para ser más eficientes. Por lo que es necesario optimizar el consumo de materiales y la mano de obra, para ello se debe:
  1. Estudiar un modelo de organización que se adapte a las características de cada planta.
  2. Analizar la influencia de cada uno de los equipos en los resultados que espera la empresa.
  3. Evaluar el consumo y stock de materiales que se emplea en cada tarea de mantenimiento.
  4. Incrementar la disponibilidad de los equipos.
  
- Existe una gran cantidad de técnicas que es necesario analizar y evaluar si su implementación supone una mejora en los resultados de la empresa, por lo que es necesario estudiar cómo desarrollarlas en el caso que sean aplicables.
  
- La calidad, la seguridad y el medio ambiente son aspectos que han tomado gran importancia en la gestión industrial, por ello es necesario gestionarlos para incluirlos eficientemente en los trabajos de mantenimiento.

En base a todos estos criterios, se propone un modelo de Gestión del Mantenimiento dinámico y en lazo secuencial que gráficamente se ilustra en la figura 1-2



**Figura; 1-2** Modelo de Gestion del Mantenimiento  
Fuente: Viveros, 2008

## 2.3 Tipos y modelos de mantenimiento

### 2.3.1 Tipos de mantenimiento

Con el paso de los años se ha podido diferenciar cinco tipos de mantenimiento y clasificarlos para una mejor comprensión, estos se diferencian entre sí debido al tipo de actividades que se desarrollan en cada una de ellas, tales como:

#### 2.3.1.1 Mantenimiento Correctivo

Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los desperfectos que se van presentando en los distintos equipos o maquinarias y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los encargados de su operación y control. (Sanzol, 2010)

### 2.3.1.2 *Mantenimiento Preventivo*

Es el proceso que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las mediaciones de sus puntos vulnerables y desarrollarlo en el momento más oportuno. Suele tener un carácter metódico, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema, es decir es un tipo de evaluación provisoria anticipada. (Sanzol, 2010)

### 2.3.1.3 *Mantenimiento basado en condición*

En este tipo de mantenimiento “se persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad.” (Sanzol, 2010)

Para emplear este tipo de mantenimiento, es necesario identificar variables físicas, tales como temperatura, vibración, consumo de energía, entre otras, cuya variación indique que puedan estar apareciendo problemas de algún tipo en el equipo.

Este es el tipo de mantenimiento más tecnológico, ya que requiere de medios técnicos desarrollados, y en ciertas ocasiones, de vastos conocimientos en el área de matemática, física y/o técnicos.

### 2.3.1.4 *Mantenimiento Cero Horas (Overhaul)*

Es un proceso que conlleva un conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados anticipando que aparezca ningún fallo, y de igual manera cuando la fiabilidad del equipo y su buen funcionamiento han disminuido apreciablemente de modo que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva.

Dicha revisión consiste en dejar el equipo a “cero horas” de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En este tipo de revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos o piezas sometidos a desgaste y en malas condiciones. Con esto se pretende asegurar, con gran probabilidad y seguridad un tiempo de buen funcionamiento establecido de antemano. (Sanzol, 2010)

#### 2.3.1.5 *Mantenimiento en uso*

Es el mantenimiento básico de un equipo o maquinaria que es realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales tales como, tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos, entre otras acciones, para las que no es necesario una gran formación, sino tan solo un entrenamiento o capacitación breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Mantenimiento Productivo Total). (Sanzol, 2010)

#### 2.3.2 *Modelos de mantenimiento*

Cada modelo incluye diversos tipos de mantenimiento, que se han descrito con anterioridad. Además, todos ellos incluyen dos tipos de actividades tales como: inspecciones visuales y mantenimiento.

Esto es así porque está demostrado que la realización de estas dos tareas en cualquier equipo es rentable. Incluso en el modelo más sencillo que es el Modelo Correctivo, en el que prácticamente se abandona el equipo a su suerte y no se ocupan de él hasta que se produce una avería, es conveniente observarlo al menos una vez al mes, y darle un adecuado mantenimiento de sus piezas, o de su estado de deterioro, utilizando productos adecuados a sus características.

Las inspecciones visuales prácticamente no tienen ningún costo para la empresa o industria, estas inspecciones estarán incluidas en unas gamas en las que se tendrá que observar otros equipos cercanos, por lo que no significará que se tenga que destinar recursos expresamente para esa función.

Esta inspección permitirá detectar averías de manera precoz, y su resolución generalmente tendrá un coste más económico para la empresa, cuanto antes detectemos el problema.

El mantenimiento como tal de tipo manual, siempre es rentable. Aunque sí representa un coste, en general es tan bajo que está sobradamente justificado, ya que una avería por una falta de mantenimiento manual implicará siempre un gasto mayor que la aplicación de un mantenimiento total o del reemplazo de cualquier equipo, maquinaria, o desperfecto industrial. (Arbizu, 2001)

Hecha esta puntualización, se puede definir los diversos modelos de mantenimiento posibles.

#### 2.3.2.1 *Modelo Correctivo*

Este modelo es el más básico, e incluye, además de las inspecciones visuales y la lubricación mencionadas anteriormente, la reparación de averías que surjan. Es aplicable, a equipos con el más bajo nivel de criticidad, cuyas averías no suponen ningún problema, ni económico ni técnico.

En este tipo de equipos no es rentable dedicar mayores recursos ni esfuerzos.

#### 2.3.2.2 *Modelo Condicional*

El modelo de mantenimiento condicional incluye las actividades del modelo anterior, y además, la realización de una serie de pruebas o ensayos, que condicionarán una actuación posterior. Si tras las pruebas se descubre una anomalía, se programará una intervención; si por el contrario, todo es correcto, no se actuará sobre el equipo.

Este modelo de mantenimiento es válido en equipos de poco uso o equipos en que, a pesar de ser importantes en el sistema productivo, su probabilidad de fallo es baja.

### 2.3.2.3 *Modelo Sistemático*

Este modelo incluye un conjunto de tareas que se realizan sin importar cuál es la condición del equipo. Además se tomarán algunas mediciones y se realizarán ciertas pruebas para decidir si efectúan otras tareas de mayor envergadura.

Por último, se resolverán las averías que surjan. Es un modelo de gran aplicación en equipos de disponibilidad media, de cierta importancia en el sistema productivo y cuyas averías causan algunos trastornos.

Es importante señalar que un equipo sujeto a un modelo de mantenimiento sistemático no tiene por qué tener todas sus tareas con una periodicidad fija. Simplemente, un equipo con este modelo de mantenimiento puede tener tareas sistemáticas, que se realicen sin importar el tiempo que lleva funcionando o el estado de los elementos sobre los que se trabaja. Es la principal diferencia con los dos modelos anteriores, en los que para realizar una tarea debe presentarse algún síntoma de fallo.

Este modelo se aplica a equipos que cuando está en operación deben ser fiables, por lo que se justifica realizar una serie de tareas con independencia de que hayan presentado algún síntoma de fallo. (Arbizu, 2001)

### 2.3.2.4 *Modelo de Mantenimiento de Alta Disponibilidad*

“Es el modelo más exigente y exhaustivo de todos. Se aplica en aquellos equipos que bajo ningún concepto pueden sufrir una avería o un mal funcionamiento. Son equipos a los que se exige, además, unos niveles de disponibilidad altísimos, por encima del 90%.” (Arbizu, 2001)

La razón de un nivel tan alto de disponibilidad es en general el alto coste en producción que tiene una avería. Con una exigencia tan alta, no hay tiempo para el mantenimiento que requiera parada del equipo es decir mantenimiento de tipo correctivo y preventivo sistemático.

Para mantener estos equipos es necesario emplear técnicas de mantenimiento predictivo, que nos permitan conocer el estado del equipo con él en marcha, y a paradas programadas, que supondrán una revisión general completa, con una frecuencia generalmente anual o superior.

En esta revisión se sustituyen, en general, todas aquellas piezas sometidas a desgaste o con probabilidad de fallo a lo largo del año, piezas con una vida inferior a dos años.

Estas revisiones se preparan con gran antelación, y no tiene por qué ser exactamente iguales todas las veces.

En este modelo no se incluye el mantenimiento correctivo, es decir, el objetivo que se busca en este equipo es “cero averías”. En general no hay tiempo para subsanar convenientemente las incidencias que ocurren, siendo necesario en muchos casos realizar reparaciones rápidas provisionales que permitan mantener el equipo en marcha hasta la próxima revisión general. Por tanto, la “puesta a cero” anual (o periódica) debe incluir la resolución de todas aquellas reparaciones provisionales que hayan tenido que efectuarse a lo largo del año.

#### **2.4 Evolución del mantenimiento para cables subterráneos.**

Desde hace mucho tiempo, la única estrategia de mantenimiento que se ha venido aplicando en los sistemas de cables subterráneos es el mantenimiento correctivo, esto se debe tal vez a las características propias de la instalación, el hecho de que los cables están enterrados suponía una barrera para los profesionales del mantenimiento.

Tampoco se conocían o no se utilizaban los avances tecnológicos y las herramientas de la gestión del mantenimiento con las que se dispone en nuestro medio.

En la actualidad, la moderna Gestión del mantenimiento, según Pablo Viveros, debe incluir todas las actividades destinadas a determinar: objetivos, prioridades, estrategias y responsabilidades en el mantenimiento, buscando siempre la mejora continua.



La adecuada Gestión del Mantenimiento de cables subterráneos debe considerar el ciclo de vida del activo y cumplir con el objetivo de reducir costos innecesarios, asegurar el correcto funcionamiento del sistema eléctrico y disminuir en todo lo posible el riesgo para las personas y para el medio ambiente. (Viveros, 2013, pp. 125-138)

## **2.5 Tipos de mantenimiento aplicables a sistemas subterráneos.**

En líneas generales existen varias técnicas o tipos de mantenimiento que se pueden aplicar a los sistemas eléctricos subterráneos. Pero es necesario diferenciar entre técnicas organizativas como el RCM, TPM y metodologías tecnológicas como el mantenimiento predictivo, etc. (Fernández, 2015)

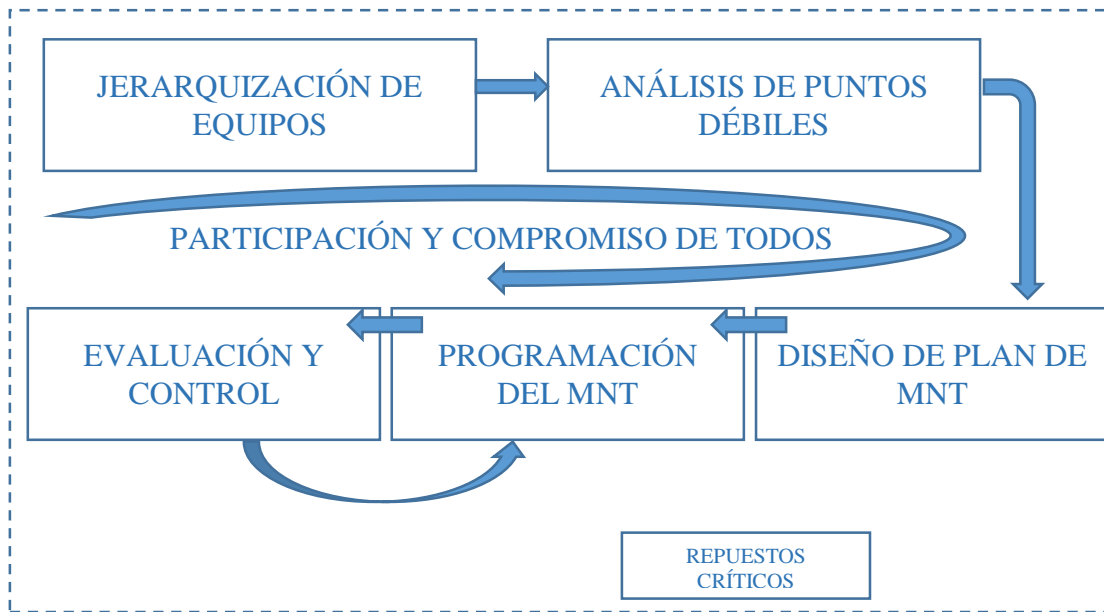
Muchos autores hablan de RCM y TPM como si fueran la solución a todos los potenciales problemas de mantenimiento, lo cual no es cierto. La gestión del mantenimiento debe sostenerse en la integración de varias técnicas y no en la exclusividad de una sola. (Fernández, 2015)

Se ha evidenciado que muchas empresas han fracasado por tratar de implementar su plan de mantenimiento basado en un solo criterio. Cada sistema y cada empresa es un caso muy particular y lo que funcione en alguna no necesariamente tiene que funcionar en otra.

Un plan de mantenimiento debe ser capaz de interactuar y obtener lo mejor de cada una de las técnicas, esta integración no es fácil pero es necesaria, puesto que se deberá conocer cada una de ellas y seleccionar que parte es útil según los objetivos que se pretende alcanzar con el mantenimiento. (Fernández, 2015)

Viveros, en la figura 2-2 plantea que como parte de un sistema de gestión del mantenimiento se deben considerar los siguientes elementos:

- Jerarquización de equipos
- Análisis de puntos débiles
- Diseño del plan de mantenimiento
- Programación del mantenimiento
- Evaluación y control



**Figura; 2-2** Elementos del Sistema de Gestión del Mantenimiento  
Fuente: Viveros, 2013

### 2.5.1 *Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)*

Es una de las técnicas organizativas más actualizadas, conocida por sus siglas en inglés RCM (Reliability Centered Maintenance), es un proceso muy útil para determinar las necesidades de un equipo o sistema para que continúe desarrollando la función deseada dentro de su contexto operacional. (SAE JA1011, 2010)

Se fundamenta en siete preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones del activo en su contexto operacional?
- ¿En qué formas falla el activo, dejando de cumplir sus funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada fallo funcional?
- ¿Qué pasa cuando ocurre cada fallo?
- ¿Qué importancia tiene cada fallo?
- ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada fallo?
- ¿Qué debe hacerse si no puede encontrarse una tarea proactiva adecuada?

Los beneficios esperados con la implementación RCM se detallan en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2** Metas de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

METAS DEL RCM				
COSTOS	SERVICIO	CALIDAD	TIEMPO	RIESGOS
Reducir los costos del mantenimiento preventivo (10 a 40%)	Conocer mejor los requerimientos de servicio del cliente	Incremento de la disponibilidad por menor preventivo y menor correctivo	Reducción en las paradas prolongadas para grandes revisiones	Mayor integración entre la seguridad y el entorno
Definir directrices y objetivos concretos para sustituir preventivos rutinarios por predictivos	Definir niveles de calidad de servicio	Eliminación de fallos crónicos	Intervalos normalmente más largos entre paradas por seguimientos predictivos	Análisis de fallos ocultos y sus causas, que no suelen revisarse en mantenimientos rutinarios
Reducir niveles de mantenimiento contratado	Reducir las averías que repercuten en el servicio	Mejora de la co-responsabilidad y adhesión al cambio en el mantenimiento	Tiempos de reparación más cortos por mejor conocimiento del sistema.	Reducción de probabilidad de fallos múltiples
Reducir paradas de producción por medio de reingeniería	Mejor comunicación entre Mantenimiento y Producción	Mejor documentación del cambio y sistema auditable por terceros		Reducción de riesgos asociados a las tareas rutinarias

Fuente: Fernández, 2015

### 2.5.2 *Mantenimiento según estado*

Consiste en realizar inspecciones regulares por personal altamente experimentado que sea capaz de identificar en base a su conocimiento y sus sentidos alguna anomalía en los equipos, programando y definiendo el mantenimiento preventivo requerido.

Se lo conoce también como mantenimiento preventivo flexible, es muy útil cuando resulta muy difícil respetar una frecuencia constante de trabajo, o cuando existe falta de personal. (Fernández, 2015)

En este tipo de mantenimiento el personal involucrado debe ser capaz de definir el procedimiento operativo a la medida y las acciones concretas a llevar a cabo, tales como:

- Generar una orden de trabajo oportuna para subsanar la anomalía detectada
- Reconfigurar el proceso productivo aplicando las posibles redundancias existentes
- Poner fuera de servicio un elemento con síntomas de avería.

## **2.6 Plan de mantenimiento**

Un plan de mantenimiento es el documento que contiene el conjunto de tareas de mantenimiento programado que debemos realizar para asegurar los niveles de disponibilidad requeridos.

Se trata de un documento en continuo cambio, fruto del análisis de las incidencias que se van produciendo, así como del análisis de los indicadores de gestión. (Sexto, 2014)

Lo importante es cómo seleccionar las tareas más adecuadas para lograr nuestro objetivo.

Para ello es necesario tener definidos ciertos criterios:

- Las tareas de mantenimiento se realizan con el objetivo de evitar los fallos de los sistemas o minimizar sus efectos.
- Los fallos pueden ser funcionales o técnicos. Un fallo funcional es el estado en el cual un activo físico o sistema no es capaz de ejecutar una función específica al nivel de desempeño deseado. Un fallo técnico es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de éste.

Las tareas se deberán centrar en aquellos elementos involucrados en los modos de fallo.

## **2.7 Herramientas para evaluación de la condición actual del mantenimiento**

Existen diversas formas para evaluar la condición del mantenimiento en una empresa, las cuales se pueden resumir (Alba, 2015) en dos grandes grupos:

- Medición de resultados a partir de cálculos de indicadores técnico-económicos.
- Valoración del desempeño mediante el control directo.

El primer grupo mide los resultados finales de la actividad reflejada en cifras, con la desventaja de la frialdad de los números que muchas veces pueden enmascarar problemas.

El segundo grupo se fundamenta en evaluaciones y auditorias para valorar en sitio el estado del mantenimiento mediante la revisión de varios aspectos establecidos con anticipación. Para ello se requiere de un grupo multidisciplinario calificado e independiente para realizar una evaluación objetiva e imparcial. (Alba, 2015)

En este proyecto el autor utiliza la auditoria como método para la evaluación de la condición actual del mantenimiento en el sistema eléctrico subterráneo.

### *2.7.1 Auditoria del mantenimiento*

La auditoría es un proceso sistemático, independiente y documentado para obtener evidencias y evaluarlas de manera objetiva para determinar el grado en que se cumplen los criterios de auditoria. (Sexto, 2014)

Se auditan los siguientes aspectos:

- Organización, personal, relaciones.
- Preparación y planificación del trabajo.
- Ingeniería, inspección y mantenimiento preventivo.
- Compras y almacenes de materiales.
- Contratación.
- Presupuestos de mantenimiento.
- Eficiencia.

### 2.7.1.1 Fases de la auditoría

El modelo de auditoría implementado se constituye de cinco fases o etapas, las mismas que se detallan en la Figura 3-2:



**Figura; 3-2** Fases de la auditoría

Fuente: ISO 19011, Directrices para la auditoría de Sistemas de Gestión, 2011

## 2.8 Sistema eléctrico

Todo nuestro mundo depende fuertemente de la energía eléctrica. El desarrollo industrial de nuestro país se encuentra estrechamente ligado con la eficiencia de los sistemas eléctricos. No es muy alentador lo que pasaría con nuestra productividad si los sistemas eléctricos fallaran.

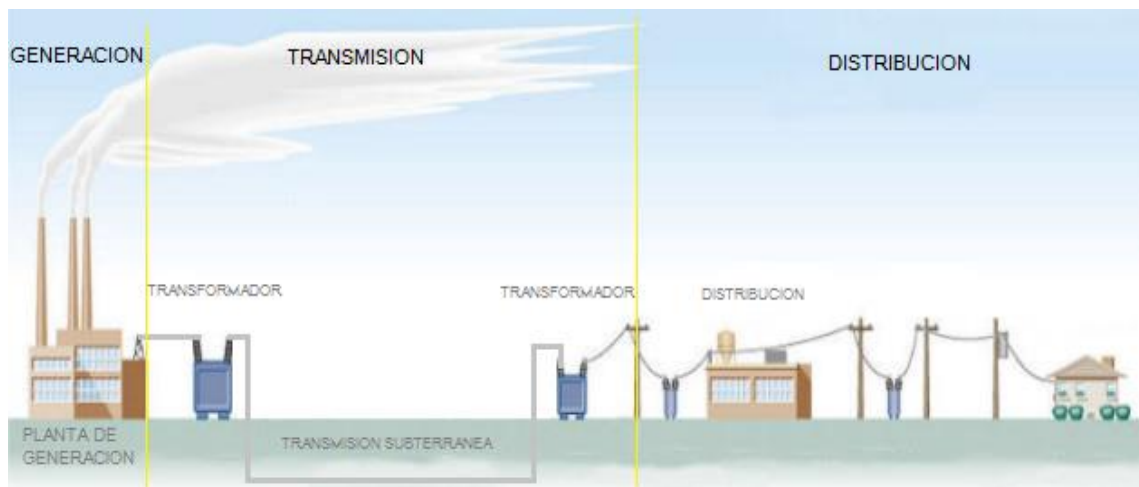
Un sistema eléctrico de potencia es un conjunto de instalaciones y equipos para producir, transportar y distribuir energía eléctrica a los usuarios de una zona, ciudad, región o país.

Dentro del sistema eléctrico se produce energía eléctrica en los centros de generación que pueden ser: centrales térmicas, eólicas, hidráulicas o fotovoltaicas.

Para el transporte o transmisión hacia las zonas residenciales e industriales se utilizan líneas eléctricas que pueden ser aéreas o subterráneas.

La etapa de distribución es la encargada de llevar la energía eléctrica a los usuarios o consumidores finales.

En la figura 4-2, se puede observar un diagrama ilustrativo de las partes que constituyen un sistema eléctrico.



**Figura; 4-2** Partes constitutivas de un sistema eléctrico

Fuente: Electored, 2015

En este proyecto de investigación se profundizará específicamente en la parte de la transmisión eléctrica por medio de cables subterráneos.

En nuestro país, casi la totalidad de los sistemas de transmisión eléctrica utilizan conductores aéreos, razón por la cual, se ha prestado poca importancia a los sistemas de transmisión subterránea, los mismos que cada vez se utilizan en mayor cantidad tanto a nivel industrial como residencial.

Es necesario que comprendamos que los sistemas subterráneos como parte del sistema eléctrico de potencia, también merecen y necesitan la atención de los profesionales del mantenimiento.

## 2.9 Cable subterráneo.

El cable subterráneo es un dispositivo eléctrico que se utiliza para transmitir energía eléctrica de un lugar a otro, siempre considerando una corriente y una tensión determinadas.

Un cable subterráneo, necesariamente debe ser aislado eléctrica y mecánicamente. Debe estar diseñado para lograr que las pérdidas eléctricas que se presentan debido a la transferencia de energía de un lugar a otro sean las mínimas posibles.

Los cables subterráneos se clasifican de acuerdo al nivel de tensión que transportan, en este caso particular, el cable subterráneo bajo estudio transporta un nivel de voltaje de 34.5 kV. (34 500 voltios).

La agencia de regulación y control de electricidad (ARCONEL), en su reglamento para suministro del servicio de electricidad en el Ecuador, establece los niveles de voltaje indicados en la Tabla 2-2

**Tabla 2-2** Niveles de voltaje en el Sistema Eléctrico Ecuatoriano

Nivel de Voltaje	Rango
Bajo voltaje	< 0.6 kV
Medio voltaje	> 0.6 kV y < 40 kV
Alto voltaje	> 40 kV

Fuente: ARCONEL, 2015

## 2.10 Confiabilidad en cables subterráneos.

Según la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), se define la confiabilidad como la aptitud de un elemento para realizar una función requerida bajo unas condiciones determinadas durante un intervalo de tiempo dado (UNE-EN 13306, 2011).

Internacionalmente se maneja de manera común el término *Reliability*, en México se utiliza el término confiabilidad y en España se denomina Fiabilidad. En el presente documento se utilizará únicamente el término *confiabilidad*.



La confiabilidad de los activos, en forma general y en el caso particular de los cables subterráneos depende de cuatro factores:

- Confiabilidad humana: (Errores: Técnicos, Inadvertidos, Conscientes)
- Confiabilidad de la gestión: (Logística, Planificación, Programación, Ejecución, Información)
- Confiabilidad inherente: (Diseño)
- Confiabilidad operacional: (Métodos estadísticos, análisis cualitativo, causa raíz)

## **2.11 Métodos para prevención y detección de fallos en cables subterráneos.**

Prevenir y detectar anticipadamente los fallos, es una parte importante dentro de la gestión del mantenimiento en los cables subterráneos, la misma que se está convirtiendo en una tendencia mundial basada en la necesidad de anticiparse a la presencia de un corte inesperado del servicio eléctrico debido a una falla del cable subterráneo.

Las nuevas técnicas para el diagnóstico de cables permiten controlar y determinar a futuro que tipo de falla tendrán.

También permiten llevar el control y analizar a lo largo del tiempo su estado de degradación.

A nivel mundial, los métodos más reconocidos son los siguientes:

- Descargas parciales
- Microscopia digital 3D
- Rayos X
- Very Low frequency

Cabe indicar que para aplicar estas técnicas no es necesario desenterrar el cable.

### 2.11.1 *Descargas Parciales*

En el proceso de fabricación de los cables de media tensión y cuando se realizan los empalmes en la etapa de construcción de la línea eléctrica, cantidades diminutas de aire (gas) de baja rigidez dieléctrica quedan aprisionados en el interior constituyendo cavidades, las mismas que al energizar el material y como resultado de la diferencia de potencial a través de estas cavidades, pueden alcanzar el valor disruptivo del aire encerrado, provocando descargas que se conoce como descargas parciales. (Inducor, 2015)

Esta técnica de medición de las descargas parciales, es un indicador importante para determinar el nivel de degradación que está sufriendo un cable subterráneo. Y se constituye en una herramienta importante para las tareas de mantenimiento.

### 2.11.2 *Microscopía digital 3D*

La microscopia digital en tres dimensiones, combinada con la iluminación ultravioleta y la utilización de tintas penetrantes, se convierten en una herramienta indispensable para el análisis y confirmación de los resultados obtenidos en las pruebas eléctricas.

Esta técnica permite visualizar lo que las técnicas eléctricas solo pueden detectar o mensurar.

### 2.11.3 *Rayos X*

Un aliado actual e indiscutible para el análisis de fallos en cables de media tensión lo constituye el análisis por rayos X.

Para identificar la degradación ascendente de cables en servicio, la aplicación de rayos X se incluye dentro de los tradicionales ensayos no destructivos.

Su aplicación permite detectar la presencia, tamaño y posición de defectos en los materiales aislantes de los cables, tales como; Grietas y fisuras, trazas de carbón, oclusiones gaseosas o impurezas.

#### 2.11.4 *Very Low Frequency (VLF)*

La IEEE 400.2 establece que los equipos de ensayo con tecnología VLF son todos aquellos que pueden generar una alta tensión de corriente alterna con una frecuencia del orden de 0,01 Hz a 1 Hz.

Este equipo es un probador de aislamiento en corriente alterna, que trabaja a muy baja frecuencia.

Su mayor aplicación es para probar el dieléctrico de cables eléctricos y pruebas en grandes máquinas rotatorias.

Esta metodología no es una prueba de diagnóstico, es una prueba de tensión AC en la que se determina si el cable soporta la tensión de ensayo o falla.

La aplicación conjunta de todas estas técnicas ofrece un panorama completo de análisis a los profesionales del mantenimiento con el que pueden determinar el real estado de degradación de los cables subterráneos y tomar las medidas preventivas o correctivas necesarias.

Ninguna de las cuatro técnicas mencionadas se considera destructiva.

## **2.12 Técnicas para localización de fallos en cables subterráneos.**

Las fallas en los cables subterráneos requieren de acción inmediata y eficiente con la finalidad de restaurar el servicio lo más pronto posible y minimizar el impacto de las pérdidas económicas causadas.

La localización de la falla debe ser tan exacta como sea posible, en la actualidad existen técnicas y equipos capaces de determinar el punto exacto donde se encuentra la falla en un cable subterráneo, todo depende del análisis del tipo de falla y la experticia del profesional que opera los equipos.

Entre las técnicas más reconocidas y utilizadas a nivel mundial se destacan las siguientes:

- Reflectometría en el dominio de tiempo (TDR)
- Reflexión de arco
- Reflexión de impulsos de corriente

#### 2.12.1 *Reflectometría en el dominio de tiempo (TDR)*

Este método utiliza un analizador con un generador de pulsos, el cual transmite un pulso de bajo voltaje en el cable bajo prueba, un osciloscopio muestra las distintas reflexiones de estos pulsos, esta técnica es útil para fallos con resistencia menor a 200 Ohmios. (Inducor, 2015)

El tiempo que toman las reflexiones para volver es proporcional a la distancia.

Si se conoce la velocidad de propagación del pulso en el cable y se lo multiplica por el tiempo que la reflexión tomó en volver, se determina la distancia exacta hasta el punto de fallo.

Este cálculo lo realiza el TDR internamente y entrega el valor de la distancia en pies o metros.

Cuando un TDR utiliza dos canales, permite presentar en su pantalla la diferencia algebraica de las dos trazas obtenidas, esto es útil cuando se está evaluando cables trifásicos y se puede comparar la fase que falló con las fases que están en buen estado.

El equipo que presenta esta característica se denomina TDR diferencial.

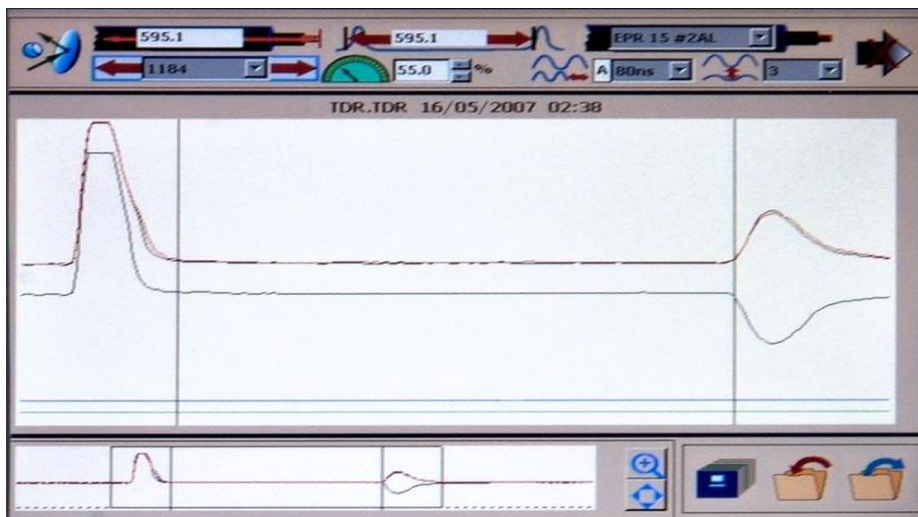
### 2.12.2 Reflexión de arco

El método de la reflexión de arco y su complemento, la reflexión de arco diferencial, se han convertido en los últimos años en los métodos preferidos para la localización de fallas en cables subterráneos.

Este método es aplicable cuando la resistencia de la falla es superior a 200 ohmios.

Por medio de un generador de pulsos se genera una corriente elevada en el lugar de la falla, creando un cortocircuito momentáneo, que el reflectómetro puede capturar y mostrar en forma gráfica.

En la figura 10-2 se representa una imagen típica de este método.



**Figura; 5-2** Curva entregada por el método de reflexión de arco

Fuente: Captura de pantalla del equipo MTDR100/300, MEGGER

### 2.12.3 Reflexión de impulsos de corriente

En este método se inyectan pulsos de alta tensión que viajan de ida y vuelta por el cable.

El analizador captura y muestrea las reflexiones originadas desde la falla y producidas por los pulsos de alta tensión.

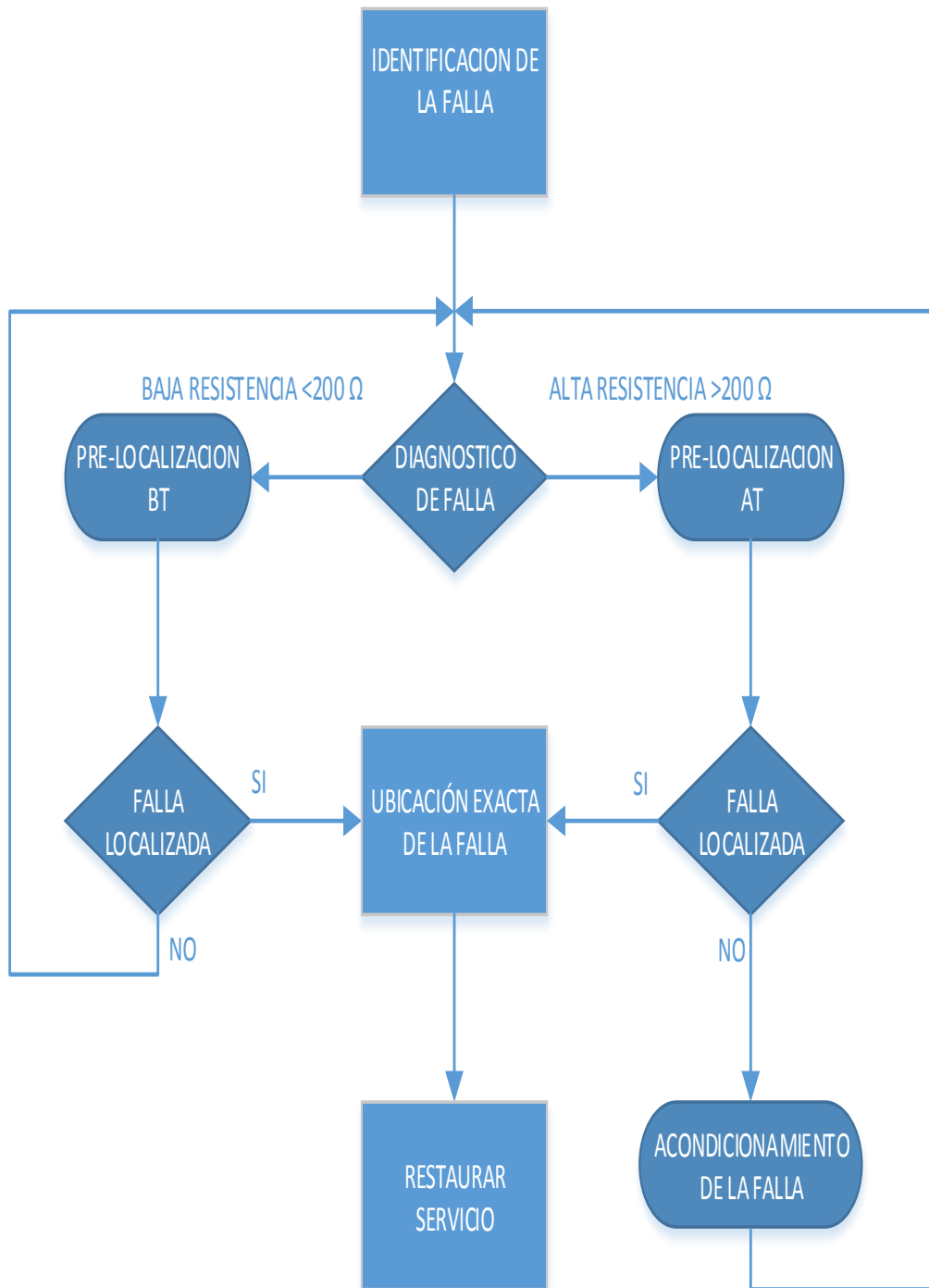
Cuando el arco es activado, un nuevo grupo de pulsos van y vienen por el cable con su propio tiempo base que es diferente del tiempo de duración del pulso original que viaja por todo el cable.

El nuevo tiempo base es utilizado para calcular la distancia de la falla.

Este método también se lo conoce como quemado o surge. En casos en los que la falla es de alta resistencia ( $>200$  ohmios) y no se ha podido detectar con los métodos de reflectometría en el dominio de tiempo ni con el método de reflexión de arco (arc reflection), se utiliza el método de impulsos de corriente, siempre considerando el no exceder los límites permisibles para los cuales está diseñado el cable.

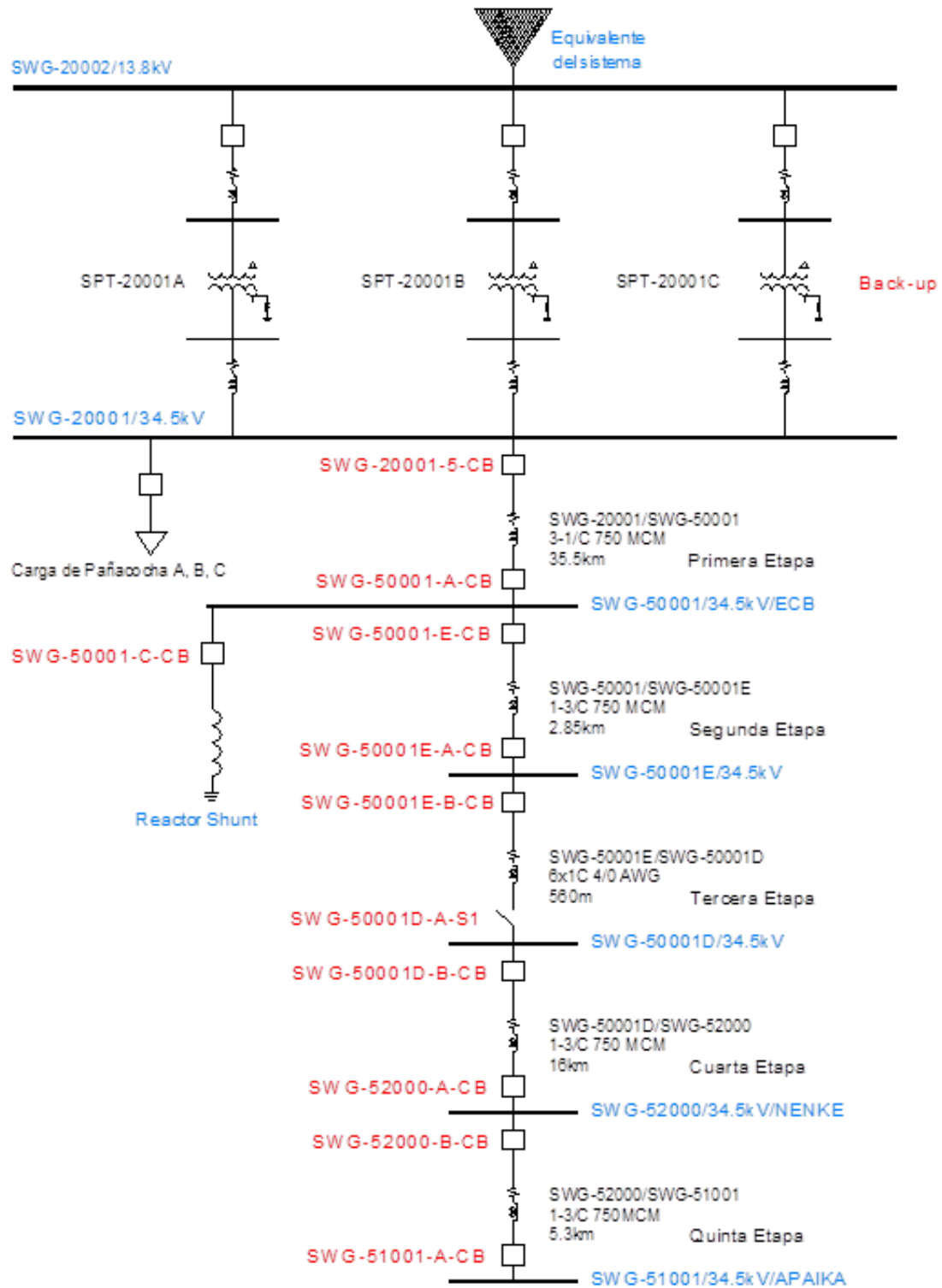
Se debe considerar que este método podría ocasionar daños irreversibles en el cable subterráneo si se lo usa descontroladamente.

Conocidos los tres métodos para localización de fallas en cables subterráneos, el enfoque lógico que se debe seguir para su utilización se detalla en la figura 6-2.



**Figura; 6-2** Secuencia para localización de fallas en cables subterráneos  
 Fuente: Megger, 2015

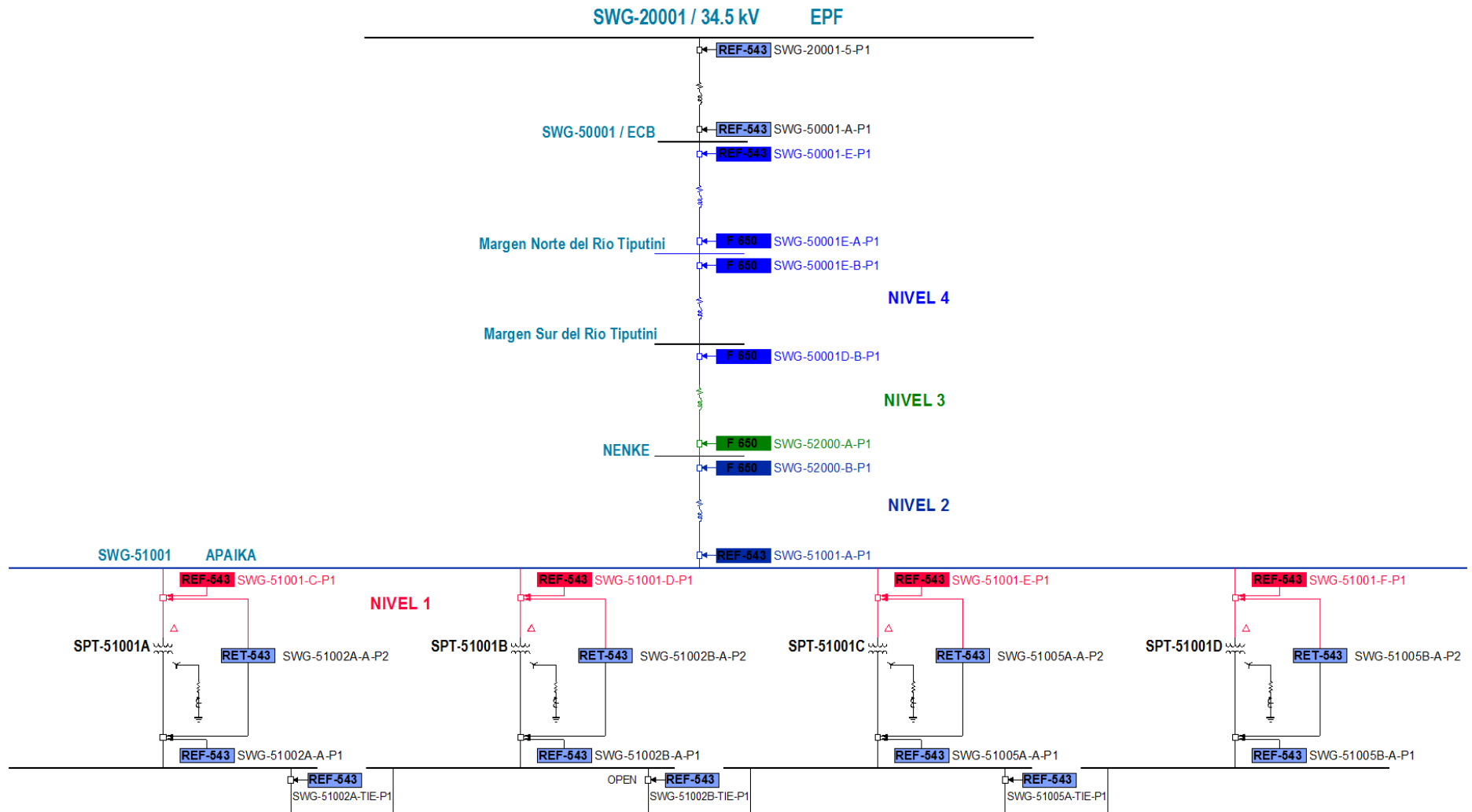
## 2.13 Diagramas unifilares del sistema subterráneo en el Bloque 31.



**Figura; 7-2** Diagrama unifilar del sistema eléctrico subterráneo, etapa 1

Fuente: Diagramas B-31





**Figura; 8-2** Diagrama unifilar del sistema eléctrico subterráneo, etapa 2

Fuente: Diagramas B-31

## **2.14 Características constructivas del cable subterráneo bajo estudio.**

En el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31, se utilizaron dos tipos de cables:

Para el primer tramo de cable con una longitud de 35.5 km se utilizó un cable tipo monopolar de aluminio calibre 750 kcmil, 69kV, OKONITE detallado en el Anexo A.

En el segundo tramo del cable subterráneo que tiene una longitud de 24.5 km, se utiliza un cable OKONITE de tres conductores calibre 750 kcmil que soporta un nivel de voltaje de 35 kV.

## **2.15 Técnica para la elaboración de empalmes en cables subterráneos.**

Un empalme es la conexión de todos los elementos que constituyen un cable de potencia aislado, protegidos mecánicamente dentro de una misma cubierta o carcasa.

La confiabilidad de un empalme depende básicamente de la calidad de los materiales empleados, el diseño y sobre todo de la mano de obra especializada que se utilice.

El correcto diseño de los empalmes se fundamenta en que los materiales utilizados sean compatibles con los elementos constitutivos del cable que se va a unir.

La adecuada selección del tipo de empalme es fundamental para el correcto funcionamiento de un sistema subterráneo, a la hora de seleccionar un empalme se deben considerar los siguientes aspectos:

- Empalme recto o en derivación
- Clase de aislamiento
- Cable monofásico o trifásico
- Calibre del conductor
- Material del conductor (cobre o aluminio)
- Tipo de blindaje sobre el aislamiento
- Si requiere protección exterior adicional

Entre los tipos de empalmes más utilizados se encuentran los siguientes:

- Encintados
- Premoldeados
- Moldeados en campo
- Termocontráctiles
- Contráctiles en frío

Para el cable subterráneo instalado en el Bloque 31 se utilizó únicamente empalmes de tipo termocontráctil, indicado en la figura 9-2. Cuya característica principal es la de contraerse y ajustarse a la forma del conductor y sus partes al momento de ser expuesto a una elevada temperatura por medio de mecheros.



**Figura; 9-2** Empalmes termocontráctiles

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

## 2.16 Criticidad en sistemas eléctricos subterráneos.

En términos generales la criticidad se evalúa por medio de la estimación de la ocurrencia de fallas en un periodo de tiempo determinado y las consecuencias o el impacto que se produce sobre la parte operativa, económica, humana o el medio ambiente. (Aguero, 2007)

La expresión matemática utilizada para valorar la criticidad es la siguiente:

$$CRITICIDAD = Frecuencia \times Consecuencia$$

**Ecuación 1**

Para determinar la consecuencia total a utilizar en la valoración de la criticidad se utiliza la siguiente expresión:

## **Ecuación 2**

$$\text{Consecuenci} = [\text{Impacto operacional} * \text{Flexibilidad}] + \text{Costo de MNT} + \text{Impacto SAH}$$

El resultado obtenido entre ambas magnitudes (Frecuencia y Consecuencia) representa el grado de criticidad del sistema o parte del sistema que se está analizando, para ello se utiliza la matriz de criticidad detallada en la figura 3-5.

Los criterios utilizados para evaluar el impacto de la falla se detallan en la Tabla 2-5

### **2.17 Tiempo de vida útil y costo del ciclo de vida.**

El costo de mantenimiento de cualquier sistema es cada vez más significativo, aunque se luce por su reducción.

Se considera prudente un costo anual de mantenimiento del 3 al 5% respecto al valor de la inversión inicial, teniendo un tiempo de vida útil entre 10 y 20 años. (Fernández, 2015).

Teniendo siempre presente que todo depende del contexto operacional.

En la figura 10-2, se puede observar las etapas básicas de la gestión de cualquier activo, entendiendo como tal, máquinas, instalaciones, etc.

Desde la primera etapa en la que dicho activo es diseñado o proyectado, y en donde ya se debe tener en cuenta en los criterios y la experiencia del Departamento de Mantenimiento.

La segunda fase, es la de adquisición, construcción y montaje.

En esta fase es conveniente también la intervención del área de mantenimiento en la fase de recepción, puesta a punto, protocolos de pruebas, etc.



**Figura; 10-2** Ciclo de vida de un activo

Fuente: Sexto, 2014

En la tercera etapa, que es cuando el activo se pone en operación, se inicia la etapa concreta de mantenimiento donde es posible definir necesidades y modificaciones, para mejorar su confiabilidad, disponibilidad o para mejorar su tiempo de vida útil.

Finalmente, existe la necesidad de su retiro y vuelve a ser mantenimiento una pieza clave en esta decisión, aportando los costos por cada año que está invirtiendo en su conservación y participando en los estudios de rentabilidad, para decidir dejar el activo funcionando o tomar la decisión de retirarlo. (Sexto, 2014)

Una vez alcanzado el periodo de amortización, el poder conseguir que la etapa de explotación sea superior a la amortización contable, se basa obviamente en que el activo físico tenga un mantenimiento adecuado.

En la figura 11-2 se expresa como punto de toma de decisión y es cuando la línea de ingresos que aporta dicha maquinaria o instalación es igual o superior a la línea de costos.

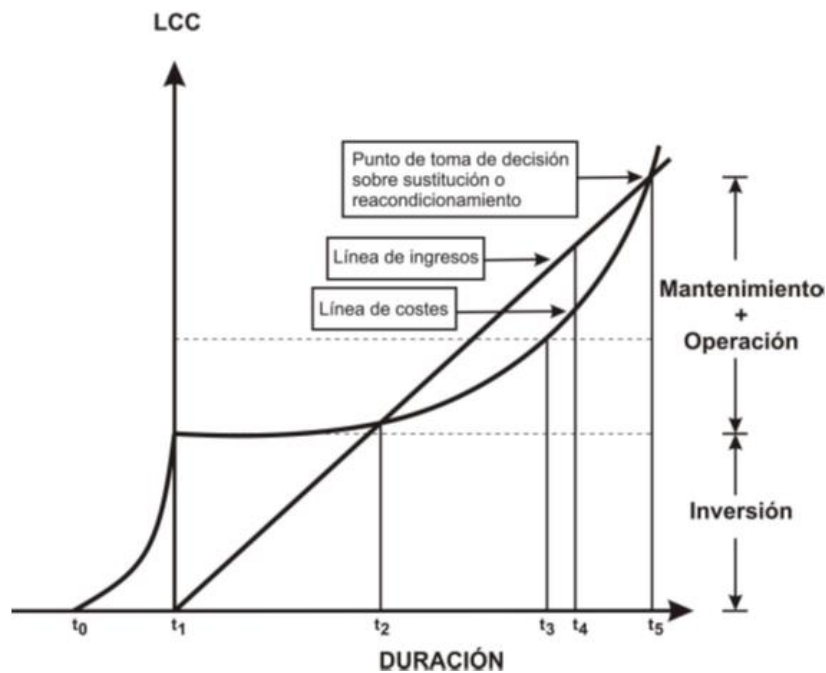
Partiendo del punto t<sub>0</sub> en la que ya se incurren en costos por las etapas de proyecto e ingeniería, el primer costo es el de la propia inversión.

A partir de ese momento empieza el activo a operar t<sub>1</sub> generando ingresos.

Desde el punto t<sub>2</sub> ya está el equipo totalmente en operación y la línea de costes es inferior a la de ingresos. El activo está dando beneficios a la empresa y así seguirá hasta el punto t<sub>5</sub>, en el que los costes de mantenimiento son cada vez mayores.

Llega un momento en el que hay que tomar una decisión, y es el punto  $t_5$  donde los costes de operación y mantenimiento son superiores a los ingresos que genera dicho bien.

La mejor forma de tener una evaluación en el tiempo, de cuando una máquina o instalación está generando más gastos que ingresos, es disponer de un seguimiento analítico por equipo, que nos esté dando en todo momento dicha rentabilidad.



**Figura; 11-2** Costo del ciclo de vida  
Fuente: Sexto, 2014

## 2.18 Riesgos eléctricos

La electricidad, considerada como una de las fuentes más importantes de energía es también, una de las más peligrosas, por lo que sus riesgos deben ser controlados con oportunidad y eficacia para evitar accidentes que pueden provocar lesiones al personal y daños a la propiedad. (CICE, 2016)

De entre todo el personal que interviene en la industria eléctrica, el que más está propenso a sufrir accidentes es aquel que participa directamente en la construcción, operación y mantenimiento de centrales de generación, patios de maniobra y líneas de transmisión aérea y subterránea. (CICE, 2016)

## **2.19 Riesgos asociados al ecosistema que rodea el cable subterráneo.**

El cable subterráneo del Bloque 31 se encuentra dentro del parque nacional Yasuní, razón por la cual una falla en este sistema tendría una connotación mayor con las autoridades de control ambiental y los propios grupos activistas defensores de la naturaleza.

Entre los riesgos asociados al ecosistema que rodea el cable subterráneo se pueden mencionar básicamente los siguientes: Explosión, Incendio, Deforestación

La explosión se puede presentar por una falla tanto en los extremos del cable como en su recorrido.

Una explosión o un arco eléctrico pueden generar incendio en los accesorios o vegetación cercana al sitio de influencia.

La deforestación es el riesgo más significativo relacionado con el ecosistema. Las técnicas antiguas que se utilizaba para localizar fallas en cables subterráneos consistían en ingresar con grandes maquinarias hasta la mitad de la trayectoria del cable, realizar excavaciones hasta localizar el cable y cortarlo para determinar en cuál de los dos sentidos se mantenía el problema.

El ingreso de maquinarias significaba grandes afectaciones al ecosistema que ya se encontraba regenerado.

Por medio de la Gestión adecuada del Mantenimiento en el Sistema Eléctrico Subterráneo se trata de mitigar estos riesgos reduciendo el número de fallas.

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Tipo de investigación**

Para este proyecto se tomó como base un enfoque orientado hacia el tipo de investigación exploratorio y se lo complementa hasta un nivel descriptivo, fundamentado en el diseño no experimental.

La etapa exploratoria permitió examinar algunas interrogantes poco estudiadas como: Cuales son las características de los cables subterráneos, Cuáles son sus necesidades de mantenimiento, y Cuales son las alternativas de mantenimiento existentes en nuestro medio. Para finalmente en esta etapa de recopilación de información obtener como punto de partida el diagnóstico inicial de la gestión de mantenimiento que se realizaba en el Bloque 31 con la red de cables subterráneos.

La segunda etapa corresponde al tipo de investigación descriptiva, consistió en investigar y tomar referencias de otros campos de producción de la empresa, se consideran los Bloques 12 y 15 que también tienen cables subterráneos en sus instalaciones y poseen información de estos sistemas, son importantes datos como: histórico de fallas, histórico de accidentes relacionados con el sistema subterráneo, daños provocados al ecosistema a causa de fallas en el sistema eléctrico.

Se levantaron también datos relacionados con pérdidas de producción provocadas por daños en los sistemas de cableado subterráneo.



Se utilizó también la herramienta de la auditoría interna y la entrevista como técnica investigativa con el personal técnico especializado en el sistema eléctrico subterráneo y con el personal más experimentado tanto del área de Mantenimiento como del área de Operaciones.

Toda esta información se utiliza en el diseño de la propuesta para la gestión del mantenimiento en el sistema eléctrico subterráneo de media tensión en el Bloque 31.

### **3.2 Tamaño de la muestra**

El tamaño de la muestra está representado por cuatro (4) personas del área operativa, cuatro (4) técnicos de mantenimiento y dos (2) supervisores de mantenimiento, de tal manera que se aplicará la encuesta a diez (10) personas en cada campo. Diez (10) personas en el Bloque 12 y diez (10) personas en el Bloque 15.

Total veinte (20) técnicos consultados.

### **3.3 Método de investigación**

El desarrollo metodológico de este proyecto se puede resumir en cinco etapas que integran un modelo de gestión del mantenimiento bajo el enfoque de la gestión de activos de la norma ISO 55000:

- Investigar las técnicas preventivas y predictivas para cables subterráneos, y técnicas modernas para localización de fallas en cables subterráneos.
- Analizar alternativas para el mantenimiento de cables subterráneos.
- Evaluar la condición actual del sistema de cableado subterráneo.
- Evaluar el impacto ambiental, económico y a la seguridad que tendría una falla en el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31.
- Diseñar un plan de Mantenimiento para los cables subterráneos.

### 3.3.1 *Investigar las técnicas preventivas y predictivas para cables subterráneos.*

Esta es la etapa inicial del estudio exploratorio, el objetivo es identificar y evaluar las opciones existentes en nuestro medio para este tipo de sistemas subterráneos.

Se estudia la información existente en normas internacionales, artículos científicos y entrevistas con profesionales de amplia experiencia en el área de mantenimiento.

### 3.3.2 *Analizar alternativas para el mantenimiento de cables subterráneos.*

En este punto se consolidan todas las alternativas posibles relacionadas con la gestión del mantenimiento para el sistema eléctrico subterráneo y se plantea la mejor alternativa bajo el punto de vista del autor y apoyándose en las recomendaciones de la norma NTE INEN-ISO 55000:2016 para gestión de activos y en la norma UNE-EN 16646: 2015 que se encarga de establecer el rol del mantenimiento dentro de la empresa en relación con la gestión de activos físicos.

### 3.3.3 *Evaluar la condición actual del sistema de cableado subterráneo.*

Para poder gestionar de forma eficiente el mantenimiento del sistema eléctrico subterráneo, es necesario conocer su condición actual, analizarla, evaluarla y plantear alternativas de mejora, medibles y sostenibles en el tiempo.

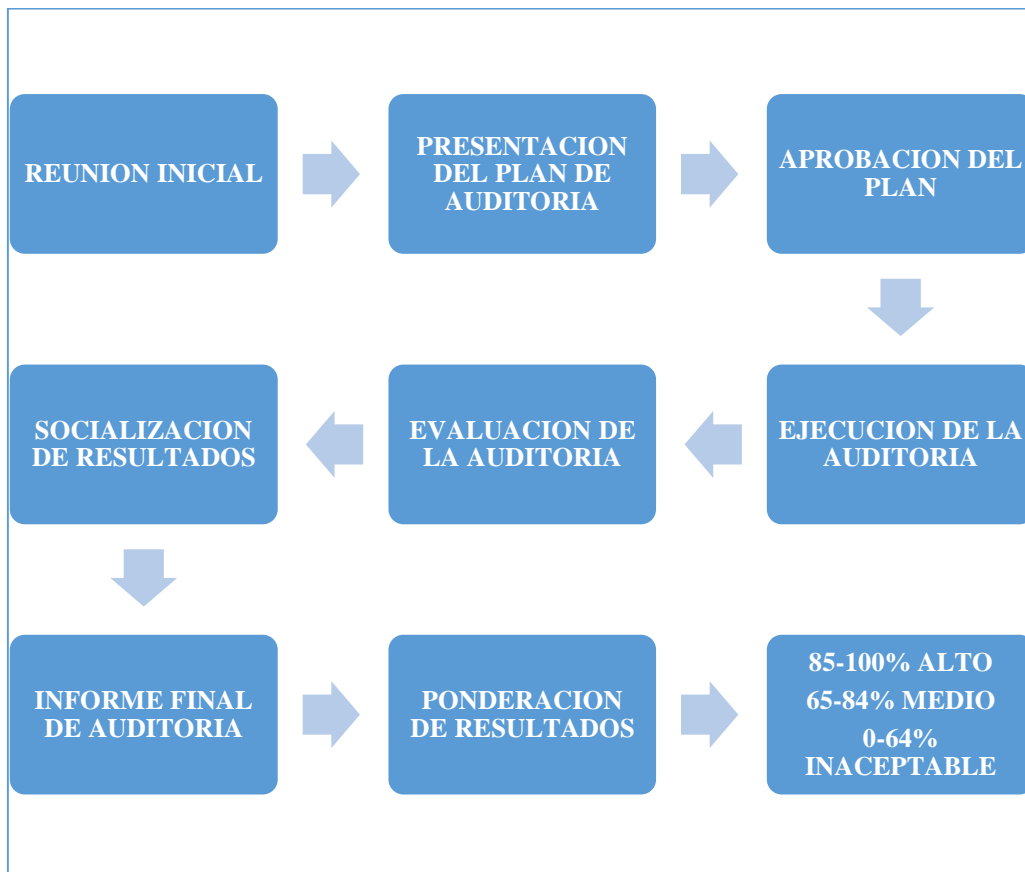
Para identificar exactamente la condición actual del mantenimiento en el sistema eléctrico subterráneo se realizaron dos actividades:

- Auditoria interna
- Encuesta con el personal involucrado en el mantenimiento y la operación del sistema eléctrico.

En el ANEXO D se detalla la guía tipo utilizada para determinar la condición actual del sistema de cableado subterráneo en el proceso de auditoría.

La entrevista con el personal involucrado en el mantenimiento y la operación del sistema eléctrico se desarrolló a manera de conversatorio sin involucrar nombres ni cargos, solo se recogieron todos los aportes y sugerencias planteadas por las personas con mayor experiencia en el área de mantenimiento y operación.

La auditoría interna se desarrolló según el siguiente esquema:



**Figura; 1-3** Secuencia para Auditoría Interna

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

### 3.3.4 *Evaluar el impacto ambiental, económico y a la seguridad que tendría una falla en el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31.*

Se evalúa el impacto ambiental y a la seguridad en base al histórico de eventos relacionados a los sistemas subterráneos de los Bloques 12 y 15, que son campos que ya tienen mayor tiempo en operación los sistemas subterráneos.

El impacto económico se evalúa en base a las condiciones actuales de producción del Bloque 31.

Producción actual: 24.000 barriles de crudo por día.

También se realiza un análisis para evaluar cuál sería el impacto luego de aplicar el modelo de gestión planteado y poder comparar con las condiciones iniciales.

### *3.3.5 Diseñar un plan de Mantenimiento para los cables subterráneos.*

El plan de mantenimiento planteado considera las recomendaciones de la norma UNE 20654-4, Guía de Mantenibilidad de Equipos en la parte 4-8: Planificación del Mantenimiento.

El Plan de mantenimiento es un conjunto estructurado de tareas, recursos y responsabilidades del mantenimiento que pretenden garantizar la operación del sistema eléctrico subterráneo de forma confiable y sostenible, maximizando su rendimiento pero optimizando los costos a lo largo de todo su ciclo de vida útil.

En la figura 1-3 se representa gráficamente la estrategia utilizada para la elaboración del plan de mantenimiento de cables subterráneos en el Bloque 31.

El plan de mantenimiento se fundamenta en la información entregada por el fabricante del cable subterráneo y se consideran las experiencias prácticas de los bloques 12 y 15 que ya llevan trabajando más de 10 años con cables subterráneos.



**Figura; 2-3** Estructura del modelo de gestión planteado  
Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se detallan todos los resultados obtenidos en la evaluación inicial del sistema eléctrico en lo que a mantenimiento se refiere, y todos los resultados que aportan para el planteamiento de la propuesta detallada en el capítulo 5.

#### 4.1 Matriz técnicas preventivas y predictivas para cables subterráneos

Se consideran todas las técnicas preventivas, técnicas para monitoreo de condición y técnicas correctivas según la norma ISO13374-1 [6]:

*Condition monitoring and diagnostic of machines – data processing, communication and presentation):*

- Termografía,
- Análisis espectral de corrientes
- Pruebas con baja frecuencia 0.1 Hz
- Descargas parciales
- Medición de corriente de fuga
- Diagnóstico de empalmes y terminales
- Medición de la resistencia de puesta a tierra
- Ensayo de rigidez dieléctrica
- Prueba de tangente  $\delta$ .

Se evalúa su aplicabilidad en el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31 y se obtuvieron los resultados que se detallan en la tabla 1-4.

**Tabla 1-4** Matriz comparativa entre técnicas preventivas, predictivas y correctivas

<b>Técnica</b>	<b>Aplica</b>	<b>Comentarios</b>
Descargas parciales	Si	Técnica de costo elevado
Microscopia digital	No	No existe en nuestro medio
Rayos x	Si	Peligro radiológico
Very low frequency	Si	Técnica aplicable
Reflectometría en el dominio de tiempo	Si	Técnica aplicable
Reflexión de arco	Si	Técnica de costo elevado
Reflexión de impulsos de corriente	Si	Destructiva
Surge	Si	Destructiva
Termografía	Si	Técnica aplicable
Análisis espectral de corrientes	No	No aplica
Diagnóstico de empalmes	Si	Técnica aplicable
Rigidez dieléctrica	Si	Técnica aplicable
Tangente delta	Si	Técnica aplicable

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

## **4.2 Condición actual del mantenimiento en el sistema eléctrico subterráneo.**

El sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31 tiene una longitud de 60 km, lleva en operación aproximadamente un año desde su primera energización, es decir es un sistema relativamente nuevo.

Se evalúa la condición actual en base a los resultados obtenidos en la auditoría interna y a los resultados obtenidos de la encuesta realizada al personal con mayor experiencia.

### *4.2.1 Resultados de la auditoría interna*

Para la asignación de aspectos y pesos se toma como referencia las recomendaciones de la Norma Venezolana COVENIN 2500-93 “Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria.” (ANEXO E) y los aspectos recomendados por la norma

UNE-EN-15341, relacionada con: “Indicadores Clave de Rendimiento del Mantenimiento”

También se consideran los criterios expuestos por veinte técnicos pertenecientes al área de Mantenimiento.

Los resultados obtenidos de la auditoria interna se resumen en la tabla 2-4:

**CRITERIOS:**

85-100%                    NIVEL ALTO  
60-84%                    NIVEL MEDIO  
MENOR A 60%            NIVEL INACEPTABLE

**Tabla 2-4** Resultados de la auditoria

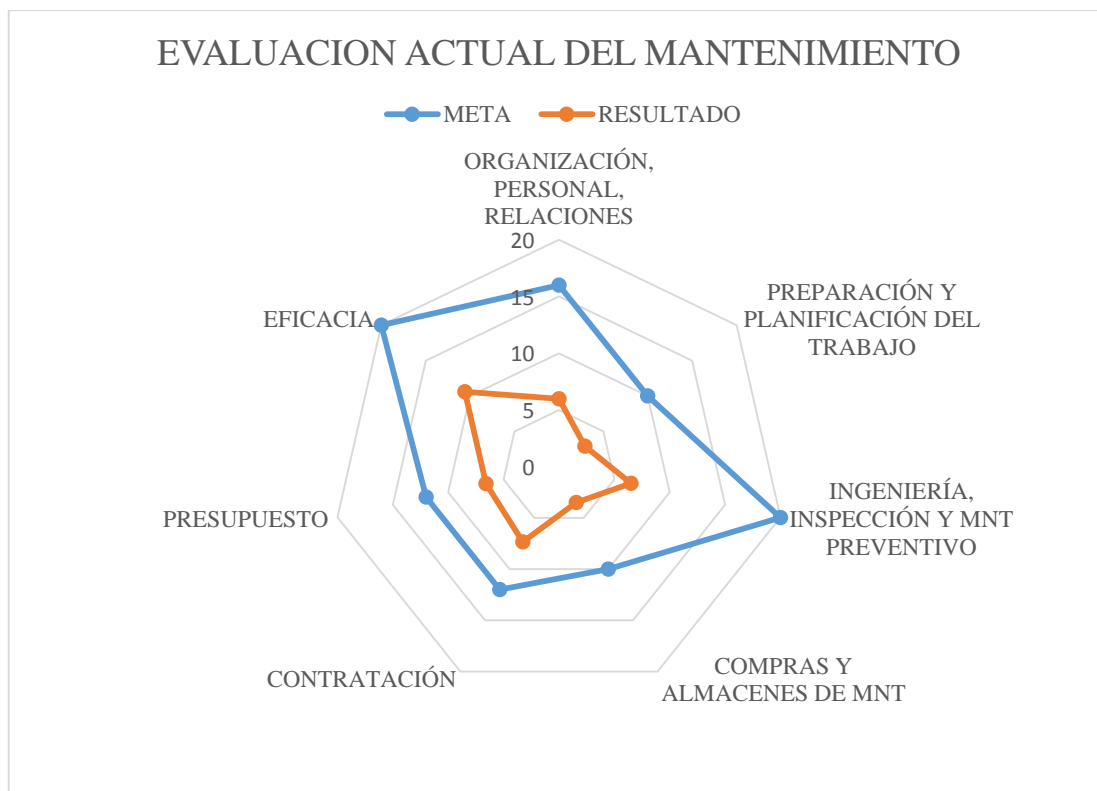
<b>Aspecto</b>	<b>Peso</b>	<b>Resultado</b>
Organización, personal, relaciones	16	6
Preparación y planificación del trabajo	10	2,91
Ingeniería, inspección y MNT preventivo	20	6,5
Compras y almacenes de MNT	10	3,5
Contratación	12	7,32
Presupuesto de MNT	12	6,6
Eficiencia	20	10,6
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>43,43</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

La calificación obtenida para la efectividad del mantenimiento en el Bloque 31 cae dentro del rango de inaceptable.

Los resultados obtenidos se grafican en forma de radar en la figura 1-4.





**Figura; 1-4** Resultados obtenidos de la evaluación del mantenimiento  
Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Para el cálculo y determinación de los valores indicados tanto en la Tabla 3-4 como en el Anexo F, se procede según la Tabla 6-4:

**Tabla 3-4** Detalle de cálculos

% Ponderación Áreas A	% Ponderación FUNCIONES B	C= CALIFICACIÓN ÁREA/FUNCIÓN (10 PERFECTO)										% CALF.AREA D=BXC/10	% CALF.MTO F=AXD/100		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	
16	100													70,5	11,28
	10									8				8	
	20									8				16	
	20								7					14	
	15								7					10,5	
	30								6					18	
	5									8				4	

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

La calificación obtenida en el casillero C es la nota otorgada por el evaluador.

El casillero D se obtiene por medio de la multiplicación de la columna B por la calificación obtenida y dividido para 10, de esta manera se obtiene el porcentaje parcial obtenido por cada sub área.

Se suman el total de porcentajes y se obtiene el porcentaje de calificación del área evaluada.

Para determinar la calificación del mantenimiento con respecto a todo el sistema evaluado se considera la calificación obtenida por el área y se la multiplica por la ponderación asignada a esta área en la columna A, para obtener el porcentaje se divide para 100.

Y este es el resultado obtenido por el área evaluada.

Los resultados individuales de cada una de las funciones se detallan en el ANEXO F

Con estos resultados se evidencia la falta de organización, planificación y eficacia del mantenimiento en el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31.

Se puede concluir, que la principal razón por la que se obtuvo esta calificación tan baja es debido a que el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31 no cuenta con un modelo de gestión para su mantenimiento.

No se posee información relacionada con el mantenimiento que los sistemas eléctricos subterráneos requieren.

Tampoco se tiene una referencia del tipo y estrategias de mantenimiento que se pueden aplicar a este sistema eléctrico subterráneo.

#### *4.2.2 Resultados de la encuesta*

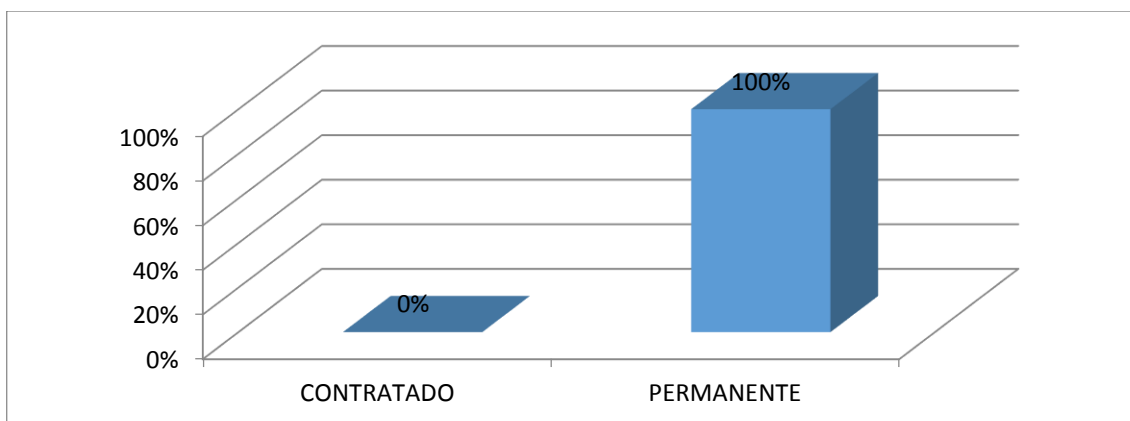
Los resultados obtenidos de la encuesta detallada en el Anexo G y realizada al personal de Operaciones y Mantenimiento se describen a continuación:

**Pregunta 1:** ¿Cuál es su Relación Laboral con la empresa?

**Cuadro 1-4** Relación laboral

1 Relación laboral		
CONTRATADO	0	100%
PERMANENTE	10	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 1-4** Relación laboral

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

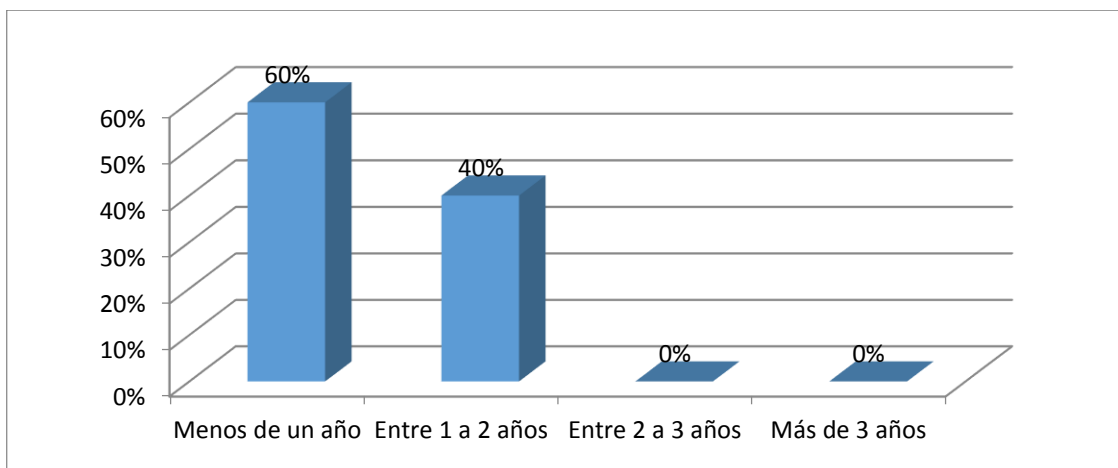
En cuanto a relación laboral, se observa que el cien por ciento es personal permanente.

**Pregunta 2:** ¿Cuál es el Tiempo de Trabajo en el Bloque 31?

**Cuadro 2-4** Tiempo de trabajo en Bloque 31

2. Tiempo de trabajo en Bloque 31		
Menos de un año	6	60%
Entre 1 a 2 años	4	40%
Entre 2 a 3 años	0	0%
Más de 3 años	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 2-4** Tiempo de trabajo en Bloque 31

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

### Análisis:

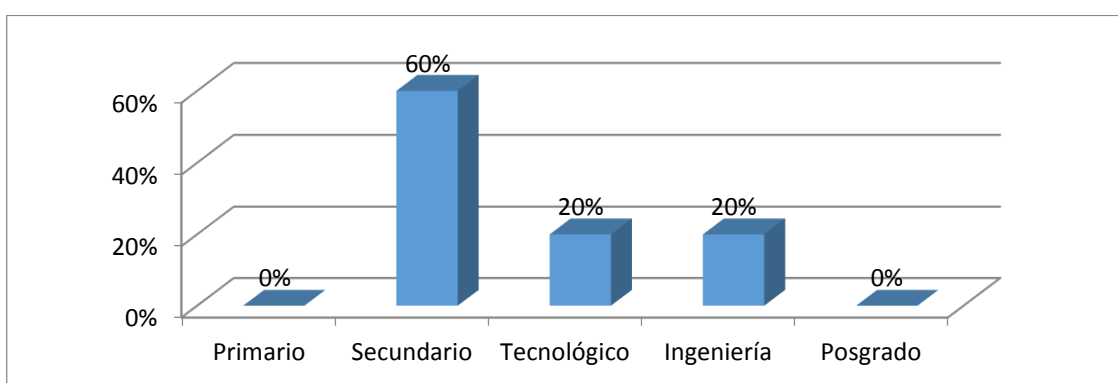
De acuerdo a los resultados se puede observar que el sesenta por ciento del personal se encuentra laborando menos de un año y el cuarenta por ciento restantes, se encuentra laborando un promedio de uno a dos años. Se debe considerar que es un campo nuevo.

**Pregunta 3:** ¿Cuál es el nivel de instrucción académica?

### Cuadro 3-4 Nivel de instrucción académica

3. Nivel de instrucción académica		
Primario	0	0%
Secundario	6	80%
Tecnológico	2	0%
Ingeniería	2	20%
Posgrado	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 3-4** Nivel de instrucción académica

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

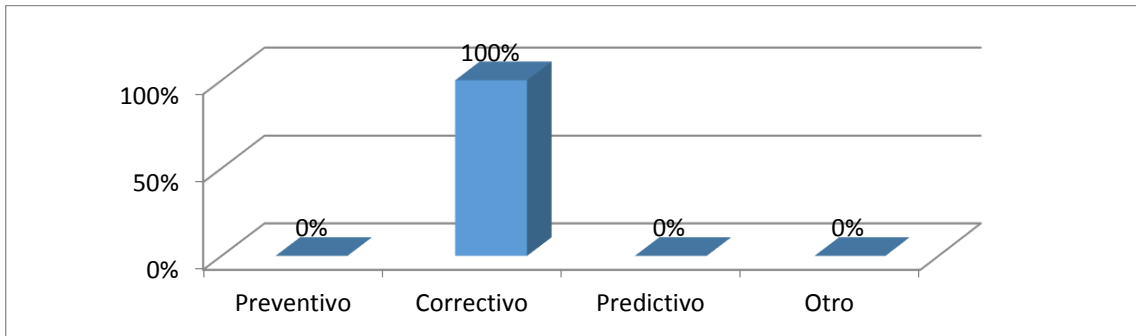
El nivel de instrucción académica alcanza un sesenta por ciento a un nivel secundario, un veinte por ciento tiene el nivel de Ingeniería y tecnología.

**Pregunta 4:** ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza en la red de cableado subterráneo?

**Cuadro 4-4** Tipo de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión

4.- ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza en la red de cableado subterráneo de media tensión?		
Preventivo	0	0%
Correctivo	10	100%
Predictivo	0	0%
Otro	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 4 -4** Tipo de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

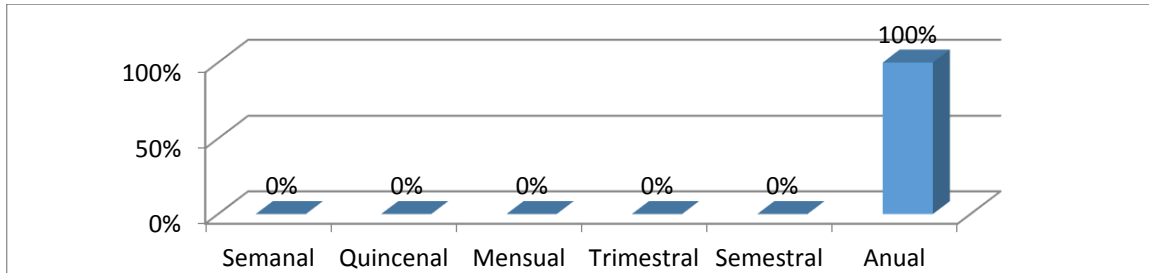
El tipo de mantenimiento que se realiza en la red subterránea con un cien por ciento de certeza indica que es de tipo correctivo.

**Pregunta 5:** ¿Cada qué tiempo considera usted que se realizan supervisiones para mantenimiento en la red de cableado subterráneo de media tensión?

**Cuadro 5-4** Tiempo de supervisión para mantenimiento

5.- ¿Cada qué tiempo considera usted se realiza supervision para mantenimiento?		
Semanal	0	0%
Mensual	0	0%
Trimestral	0	0%
Semestral	0	0%
Anual	10	100%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 5- 4** Tiempo de supervisión para mantenimiento

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

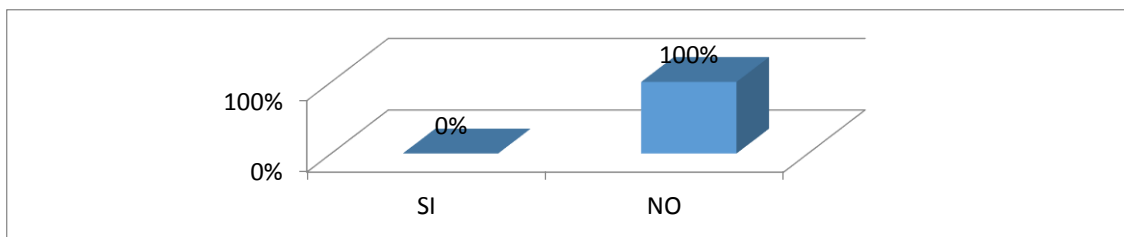
Las supervisiones para mantenimiento en la red de cableado subterráneo de media tensión son anuales con un porcentaje de aseveración del cien por ciento.

**Pregunta 6:** ¿Cuenta el Bloque 31 con un plan de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión?

**Cuadro 6-4** Plan de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión.

6.- ¿Cuenta el Bloque 31 con un plan de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión?		
SI	0	0%
NO	10	100%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 6-4** Cuenta con Plan de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

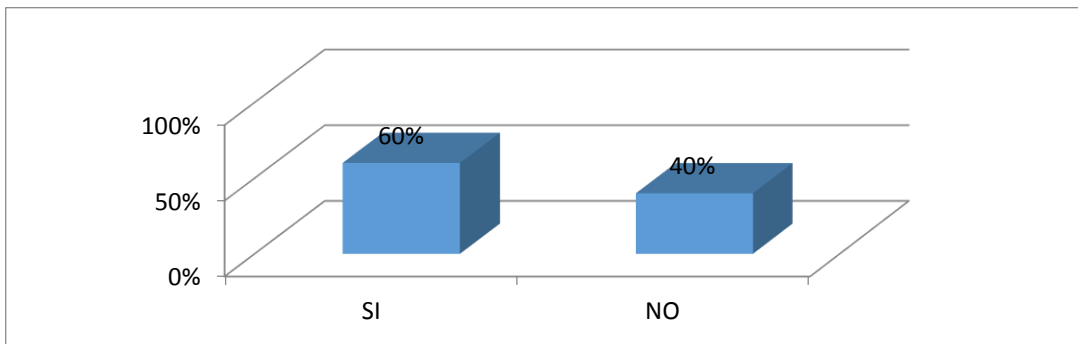
En el Bloque 31 no se cuenta con un plan de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión.

**Pregunta 7:** ¿Considera que la red de cableado subterráneo de media tensión en el Bloque 31 cumple los requerimientos necesarios en seguridad para el personal?

#### Cuadro 7-4 Requerimientos de seguridad para el personal

7.- ¿Considera que la red de cableado subterráneo de media tensión en el Bloque 31 cumple los requerimientos necesarios en seguridad para el personal?		
SI	6	60%
NO	4	40%
TOTAL	10	100%

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 7-4** Requerimientos de seguridad para el personal

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

#### Análisis:

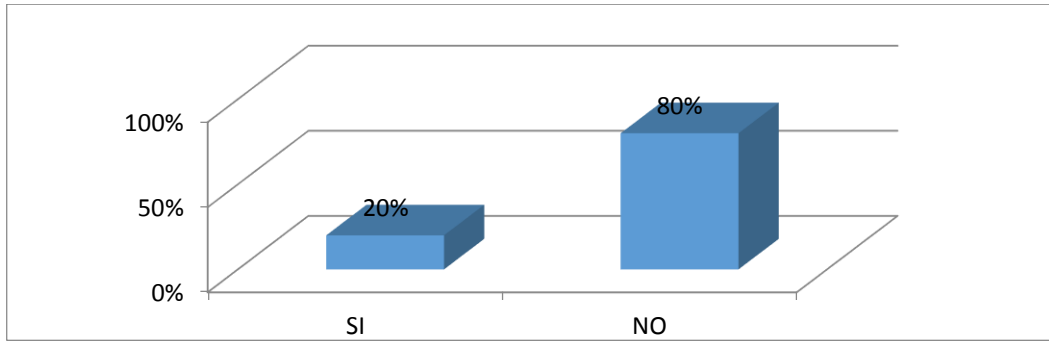
El sesenta por ciento de los consultados considera que se cumple los requerimientos necesarios en seguridad para el personal y el cuarenta por ciento restantes afirma que no es así.

**Pregunta 8:** ¿Considera que la ruta utilizada por la red de cableado subterráneo en el Bloque 31 cumplen con los requerimientos necesarios en señalética?

#### Cuadro 8-4 Requerimientos de Señalética

8.- ¿Considera que la ruta utilizada por la red de cableado subterráneo en el Bloque 31 cumplen con los requerimientos necesarios en señalética?		
SI	2	20%
NO	8	80%
TOTAL	10	100%

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 8-4** Requerimientos de Señalética

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

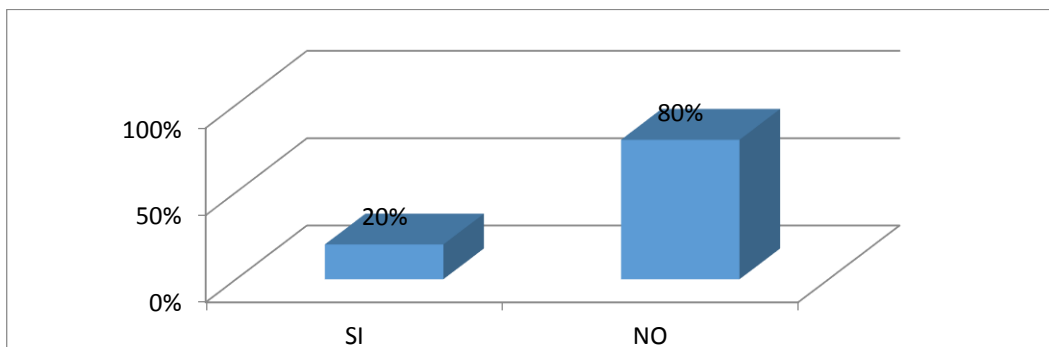
Un ochenta por ciento considera que la ruta utilizada por la red de cableado subterráneo en el Bloque 31 no cumple con los requerimientos necesarios en señalética, mientras que el veinte por ciento restantes si cumple con los requerimientos de señalética.

**Pregunta 9:** ¿Considera que el personal involucrado en la operatividad y mantenimiento de la red de cableado subterráneo del Bloque 31 tiene el equipamiento adecuado?

**Cuadro 9-4** Equipamiento operativo adecuado

9.- ¿Considera que el personal involucrado en la operatividad y mantenimiento de la red de cableado subterráneo del Bloque 31 tiene el equipamiento operativo adecuado?		
SI	8	100%
NO	2	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 9-4** Equipamiento operativo adecuado

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Análisis:**

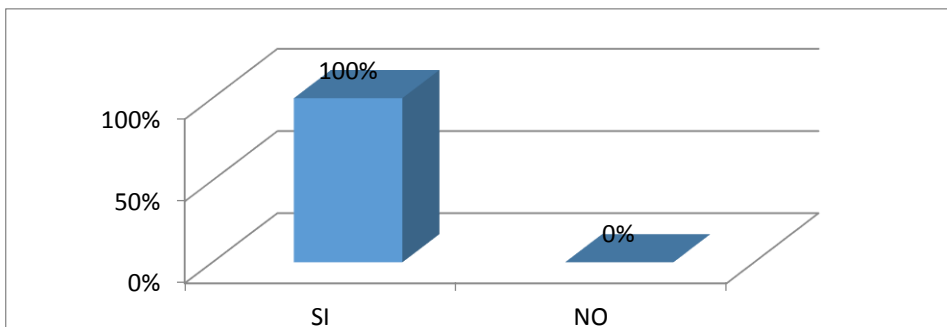
Se considera en un ochenta por ciento que el personal involucrado en la operatividad y mantenimiento de la red de cableado subterráneo del Bloque 31 si posee el equipamiento operativo adecuado.

**Pregunta 10:** ¿Es común que se contrate personal externo para tareas de mantenimiento de la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31?

**Cuadro 10- 4** Contrato de Personal Externo.

10.- ¿Es común que se contrate personal externo para tareas de mantenimiento de la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31?		
SI	10	100%
NO	0	0%
TOTAL	10	100%

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 10-4** Contrato de Personal Externo

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

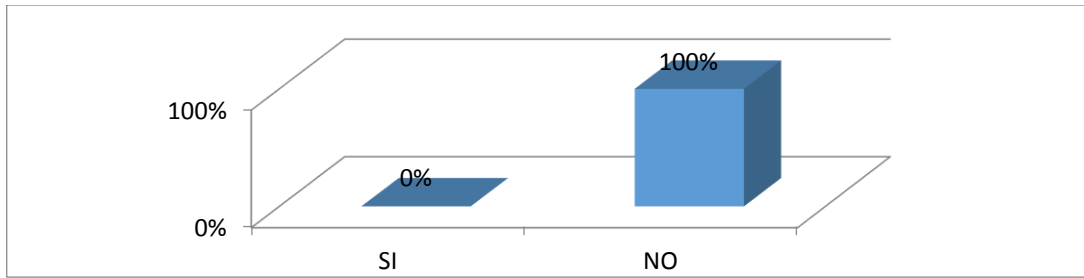
Es común en un cien por ciento que se contrate personal externo para tareas de mantenimiento de la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31.

**Pregunta 11:** ¿Existen registros detallados de los mantenimientos históricos dados a la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31?

**Cuadro 11-4** Registros de mantenimiento

11.- ¿Existen registros detallados de los mantenimientos históricos dados a la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31?		
SI	0	0%
NO	10	100%
TOTAL	10	100%

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 11-4** Existen registros detallados de los mantenimientos históricos  
 Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

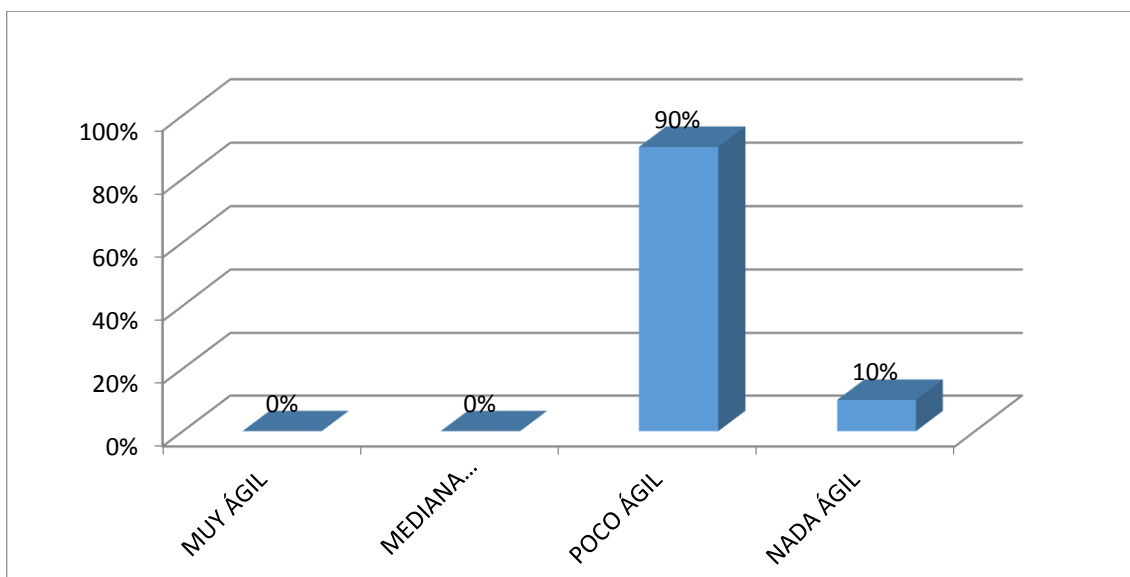
No existen registros detallados de los mantenimientos históricos dados a la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31.

**Pregunta 12:** ¿En caso de requerir algún tipo de repuesto para la red de cableado subterráneo de media tensión en el Bloque 31, cómo considera la gestión que se realiza?

**Cuadro 12-4** Gestión de compras

12.- ¿En caso de requerir algún tipo de repuesto para la red de cableado subterráneo de media tensión en el Bloque 31, cómo considera la gestión que se realiza?		
MUY ÁGIL	0	0%
MEDIANAMENTE ÁGIL	0	0%
POCO ÁGIL	9	90%
NADA ÁGIL	1	10%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 12-4** Gestión de repuestos  
 Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

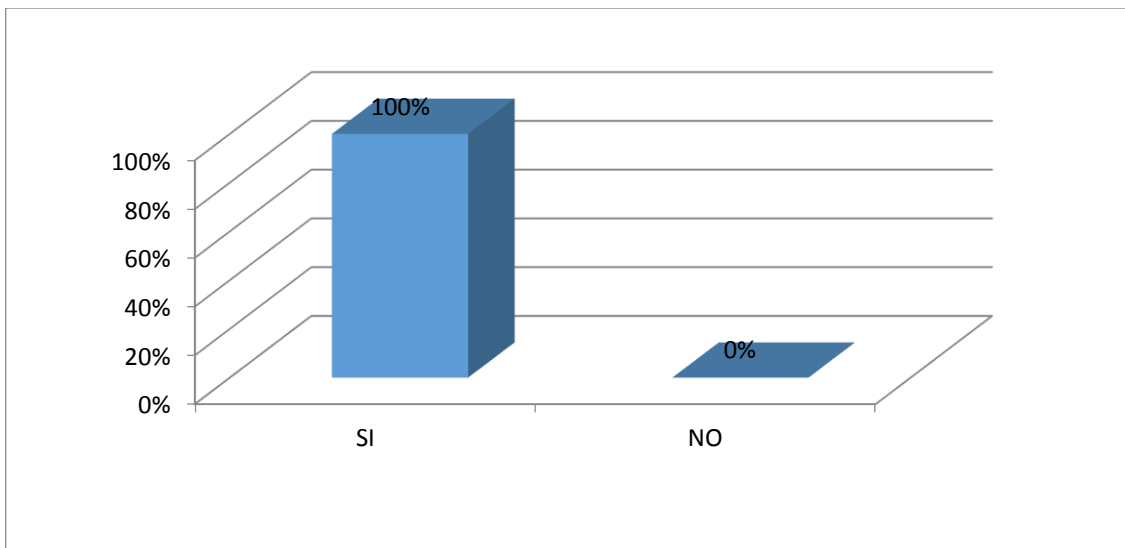
En caso de requerir algún tipo de repuesto para la red de cableado subterráneo de media tensión en el Bloque 31, se considera con un noventa por ciento que la gestión que se realiza es poco ágil.

**Pregunta 13:** ¿Han sucedido paradas no planificadas en las operaciones debido a fallas de la red de cableado subterráneo de media tensión?

**Cuadro 13-4** Paradas no planificadas

13.- ¿Han sucedido paradas no planificadas en las operaciones del Bloque 31 debido a fallas de la red de cableado subterráneo de media tensión?		
SI	10	100%
NO	0	0%
TOTAL	10	100%

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 13-4** Paradas no planificadas

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

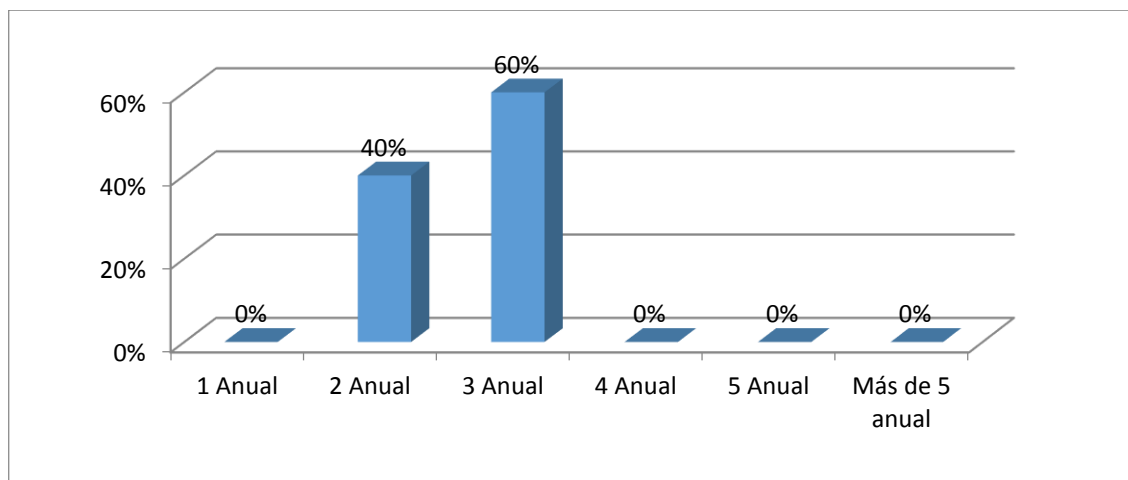
El cien por ciento del personal encuestado manifiesta que si han sucedido paradas no planificadas en las operaciones debido a fallas de la red de cableado subterráneo de media tensión.

**Pregunta 14:** Indique la frecuencia anual de paradas no planificadas en las operaciones debido a fallas de la red de cableado subterráneo de media tensión.

**Cuadro 14- 4** Frecuencia de paradas no planificadas

14.- Indique la frecuencia anual de paradas no planificadas en las operaciones debido a fallas de la red de cableado subterráneo de media tensión.		
1 Anual	0	0%
2 Anual	4	40%
3 Anual	6	60%
4 Anual	0	0%
Más de 5 anual	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 14- 4** Frecuencia de paradas

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

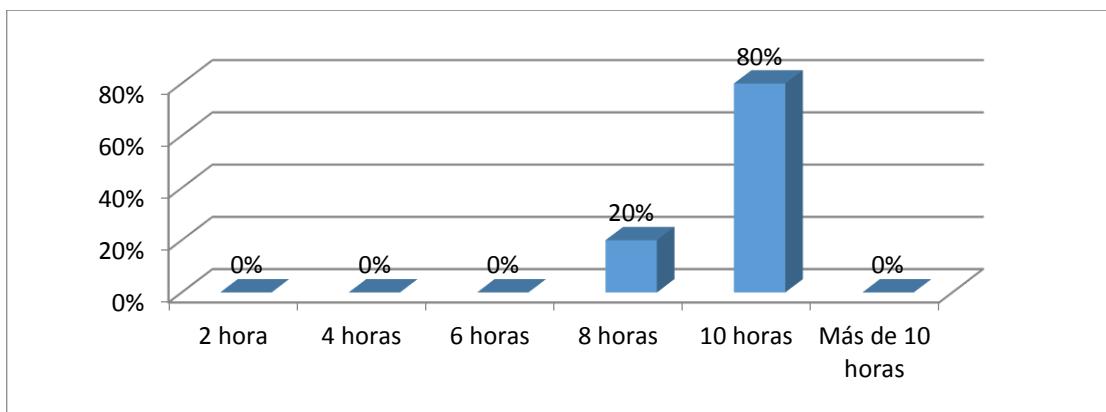
Se observa que la frecuencia anual de paradas no planificadas es de tres por año con un sesenta por ciento de confirmación.

**Pregunta 15:** Indique el tiempo que han tardado las paradas no planificadas por causas de la red de cableado subterráneo de media tensión.

**Cuadro 15- 4** Tiempo de paradas no planificadas

15.- Indique el tiempo que han tardado las paradas no planificadas por causas de la red de cableado subterráneo de media tensión.		
4 horas	0	0%
6 horas	0	0%
8 horas	2	20%
10 horas	8	80%
Más de 10 horas	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 15– 4** Tiempo de paradas no planificadas

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

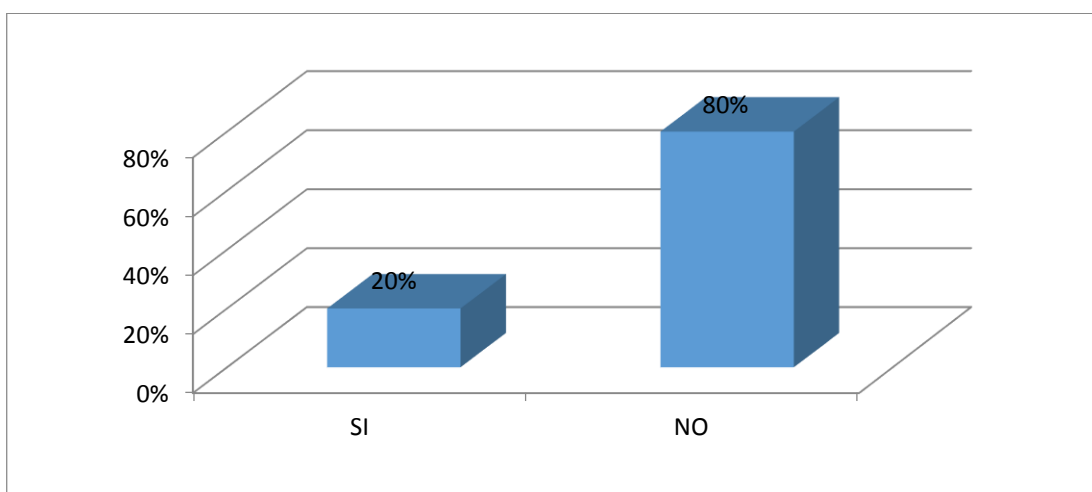
**Análisis:** Un ochenta por ciento concuerda con que el tiempo que han tardado las paradas no planificadas han sido de al menos de 10 horas.

**Pregunta 16:** ¿Se planifica con antelación la paralización de unidades operativas dentro del Bloque 31 con finalidades de mantenimiento a la red de cableado subterráneo?

**Cuadro 16– 4** Planificación

16 ¿Se planifica con antelación la paralización de módulos o unidades operativas dentro del Bloque 31 con finalidades de mantenimiento a la red de cableado subterráneo de media tensión?		
SI	2	20%
NO	8	80%
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 16– 4** Planificación de paradas

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

## Análisis

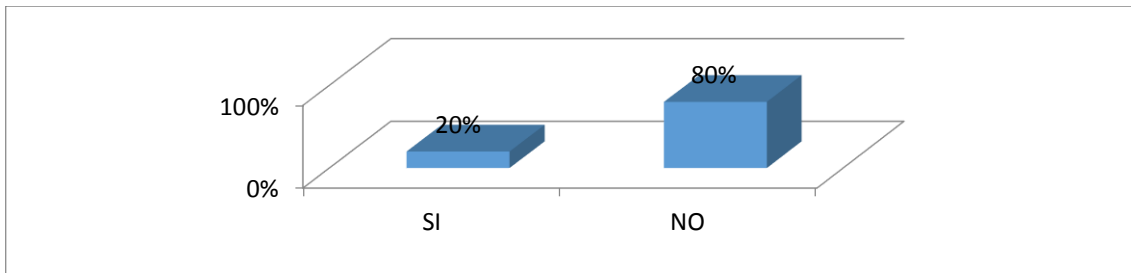
Un ochenta por ciento de los encuestados dice que no se planifica con antelación.

**Pregunta 17:** ¿Se ofrece capacitaciones periódicas sobre mantenimiento, o temas relacionados a factores influyentes de la red de cableado subterráneo de media tensión?

### Cuadro 17– 4 Capacitación

17 ¿Se ofrece capacitaciones periódicas sobre mantenimiento, seguridad, medio ambiente, o temas relacionados a factores influyentes de la red de cableado subterráneo de media tensión?		
SI	2	20%
NO	8	80%
TOTAL	10	100%

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 17– 4** Capacitación

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

## Análisis

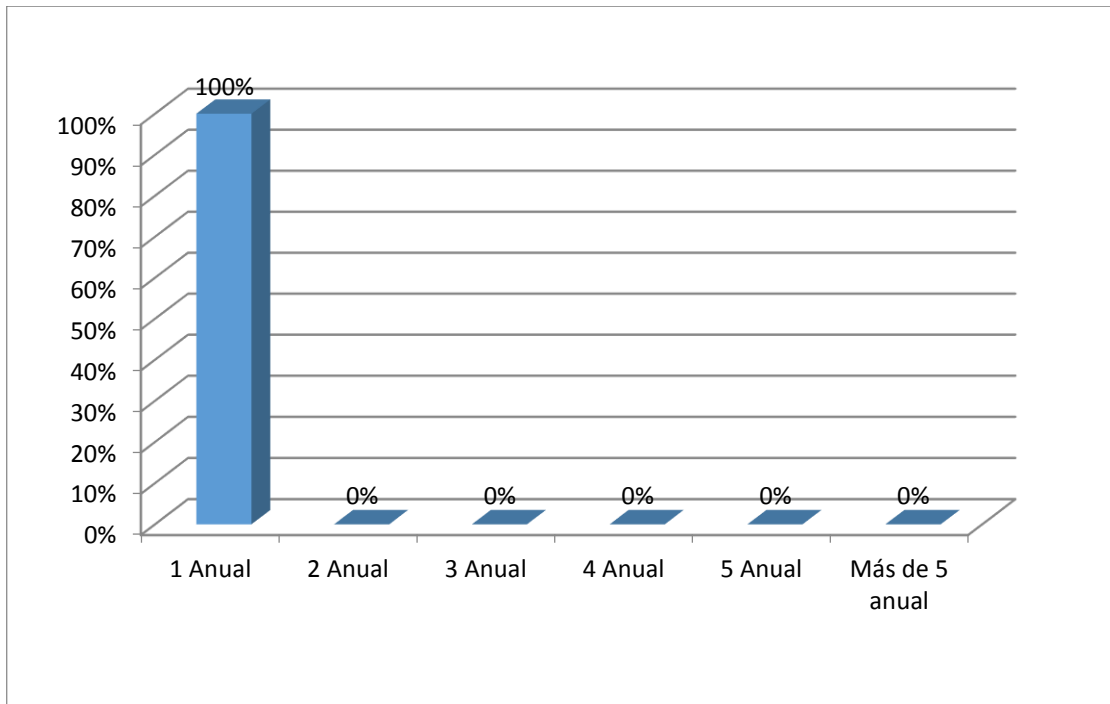
Se puede observar que un ochenta por ciento de los entrevistados concuerdan que no se ofrecen capacitaciones periódicas sobre mantenimiento, o temas relacionados a factores influyentes de la red de cableado subterráneo.

**Pregunta 18:** Indique la frecuencia anual de capacitaciones relacionadas.

### Cuadro 18– 4 Frecuencia de capacitaciones

18.- Indique la frecuencia anual de capacitaciones relacionadas.		
1 Anual	10	100%
2 Anual	0	0%
3 Anual	0	0%
4 Anual	0	0%
5 Anual	0	0%
Más de 5 anual	0	0%
TOTAL	10	100%

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015



**Figura 18– 4** Frecuencia  
 Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Análisis:**

El cien por ciento concuerda que la frecuencia anual de capacitaciones relacionadas es una vez al año.

La encuesta se realizó básicamente para interactuar con el personal operativo y de mantenimiento con mayor experiencia en el campo con la finalidad de obtener sus apreciaciones acerca de la condición actual del mantenimiento, desde su punto de vista y percepción.

**4.3 Resumen de la situación actual**

Para el diagnóstico se han considerado los resultados obtenidos de la auditoría y de la encuesta realizada, los cuales han sido sintetizados en la tabla 3-4.

**Tabla 4-4** Resumen.

<b>Factor Clave</b>	<b>Situación Actual</b>
Gestión del Área de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema eléctrico subterráneo no se encuentra codificado</li> <li>• La red de cableado subterránea no cuenta con registros históricos que permitan realizar un adecuado seguimiento.</li> <li>• No se planifica adecuadamente las paradas para mantenimiento.</li> <li>• No se tiene un análisis de criticidad</li> <li>• No se cuenta con un plan de capacitaciones bien definido y delimitado para el área de mantenimiento relacionado con cables subterráneos de media tensión.</li> <li>• El personal que labora en el área no cumple con el perfil requerido.</li> <li>• El personal tiene poco tiempo de trabajo en este campo, la mayoría han sido transferidos de otros campos.</li> <li>• No existe señalética adecuada en toda la ruta de las redes lo que causa alto riesgo para la seguridad del personal y medio ambiente.</li> <li>• El equipamiento al personal técnico no está acorde a las funciones que desempeñan, específicamente el personal especializado necesita contar con equipos para prueba y diagnóstico.</li> <li>• Se contrata externamente las tareas que bien pueden ser realizadas por personal propio.</li> <li>• Falta de planificación para realizar mantenimientos preventivos.</li> <li>• Deficiente comunicación con el área de adquisiciones de repuestos por lo que los tiempos de abastecimiento son extensos.</li> <li>• Escaso control de la planificación</li> </ul>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Identificada la situación actual del mantenimiento con respecto al sistema eléctrico subterráneo en el Bloque 31, se propone el plan de mantenimiento detallado en el capítulo 5, plan que permitirá gestionar eficientemente el mantenimiento del sistema eléctrico subterráneo.



## 4.4 Impacto ambiental, económico y a la seguridad a causa de una falla

### 4.4.1 *Impacto ambiental*

Los impactos ambientales relacionados con fallas en el sistema subterráneo se enmarcan en los trabajos que se deben realizar para poder identificar la falla en el cable subterráneo.

En este tipo de eventos se afecta flora y la fauna con el ingreso de equipos y maquinaria.

En la Figura 3-4, se puede observar la afectación que se produce durante el proceso de localización de fallas en cables subterráneos si no se cuenta con las herramientas tecnológicas adecuadas para identificar exactamente el punto de falla.



**Figura; 2-4** Afectación al momento de identificar una falla  
Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Empresas con amplia experiencia en detección de fallas en cables subterráneos como Inducor de Argentina, pública en su página web que los tiempos para detección de fallas en los cables subterráneos son menores cuando se aplican técnicas como la reflectometría en el dominio de tiempo y la reflexión de arco.

### 4.4.2 *Impacto económico*

El Bloque 31 tiene una producción diaria total de 24.000 barriles de petróleo por día, dividido en dos plataformas de producción APAIKA y NENKE

APAICA con 10000 Barriles por día.

NENKE con 14000 Barriles por día.

Según los resultados de las encuestas y los datos históricos de la empresa, se ha evidenciado que al año se producen en diferentes campos al menos 3 fallas en cables subterráneos, cada parada dura un tiempo aproximado de diez horas.

Se utiliza este dato como referencia para establecer un cálculo proyectado de posibles pérdidas causadas por fallas en el sistema subterráneo por falta de mantenimiento.

Producción diaria: 24000 BPD

Producción hora: 1000 Barriles

Número de horas: 10

Paradas anuales: 3

Pérdidas:

### **Ecuación 3**

$$Perdidas = (Produccion\ hora * Numero\ de\ horas) * Paradas\ anuales$$

$$Perdidas = (1000 * 10) * 3 = 30000\ Barriles\ al\ año$$

Se establece como mínimo de pérdidas alrededor de 30000 barriles por día; lo cual traducido a precios actuales del barril de 44,49 dólares, son un estimado de 1,334.700 dólares en pérdidas por año.

Las pérdidas económicas son significativas, razón por la cual es necesario establecer un modelo de gestión de mantenimiento que reduzca las paradas no planificadas del sistema eléctrico subterráneo.

#### *4.4.3 Impacto a la seguridad*

La seguridad de las personas involucradas en tareas de mantenimiento y operación del sistema eléctrico subterráneo es lo más importante, durante el periodo de evaluación (2

años) se registran cinco casos significativos de accidentes eléctricos ocasionados por la falla de los conductores eléctricos o alguno de sus accesorios.

Estos eventos se detallan en la tabla 4-4

**Tabla 5-4** Eventos de afectación a la seguridad

<b>Evento</b>	<b>Fecha</b>	<b>Causa</b>
Arco eléctrico por falla de aislamiento	15-10-2014	Exceso de confianza
Explosión de cable de poder	05-02-2014	Afectación con retroexcavadora por falta de señalización del área
Descarga eléctrica por contacto con cable energizado.	26-07-2014	Acumulación de suciedad en las puntas terminales del cable
Explosión de cable subterráneo	16-01-2015	Degradación del aislamiento eléctrico
Disparo de protecciones por falla a tierra	18-05-2015	Ingreso de agua por la chaqueta protectora del cable.

Fuente: Petroamazonas, 2015

Periodo 2014-1015

#### **Ecuación 4**

$$\text{Indice accidentabilidad} = \frac{\text{Numero de accidentes en el periodo}}{\text{promedio de trabajadores en el periodo}} * 100 \%$$

$$\text{Indice accidentabilidad} = \frac{5}{150} * 100 = 3.3 \%$$

El índice de accidentabilidad máximo establecido por la empresa para el Bloque 31 equivale a un valor de 1.33 del global de indicadores para toda la organización.

Estos eventos son evitables si se mantiene un adecuado plan de mantenimiento que incluya monitoreo permanente de la condición del cable y capacitación constante al personal involucrado directa e indirectamente con el sistema eléctrico.

Periodo 2016-1017

$$\text{Indice accidentabilidad} = \frac{1}{150} * 100 = 0.66 \%$$

#### 4.5 Cálculo de la confiabilidad del sistema bajo estudio.

Para términos de cálculo de la confiabilidad, partimos de un modelo matemático que considera el funcionamiento del cable subterráneo en el medio para el cual fue especificado.

Se define la variable aleatoria que en este caso es el tiempo durante el cual el cable subterráneo funciona satisfactoriamente antes de que se produzca el fallo.

La probabilidad de que el cable subterráneo trabaje satisfactoriamente en el momento (t) es lo que en la expresión detallada a continuación se denomina confiabilidad, en este caso que el número de fallos es pequeño se utiliza la distribución exponencial, no se utiliza la distribución de Weibull porque para ello se requiere por lo menos diez datos de fallos:

$$R(t) = e^{-\lambda * t} \Rightarrow e^{-\frac{1}{MTBF} * t} \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

R (t): Confiabilidad (Probabilidad de funcionamiento sin fallos).  
e: Numero de Euler (2,718).  
 $\lambda$ : Tasa de fallos.  
t: Periodo.  
MTBF: Tiempo promedio entre fallos.

La tasa de fallos, según Luis Felipe Sexto, se define como una función que describe el número de fallos de un sistema o componente que pueden ocurrir en un determinado tiempo. (Sexto, 2014)

Su fórmula para cálculo se fundamenta en el número de fallos dividido para el tiempo de operación.

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Tiempo de operacion}} \Rightarrow \frac{1}{MTBF} \quad \text{Ecuación 6}$$
$$\lambda = \frac{3}{8760} = 0.0003425 \text{ fallos/hora} \quad 3 \text{ fallos/año}$$

Por otro lado, el tiempo promedio entre fallos es la media aritmética del tiempo de funcionamiento entre fallos (UNE-EN 13306, 2011, p. 19)

Se calcula relacionando el tiempo total de funcionamiento con el número de fallos presentados

### Ecuación 7

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo total de funcionamiento}}{\text{Número de fallos}}$$

Cálculo de la confiabilidad inicial:

DATOS:

e: 2,718  
 $\lambda$ : 0.0003425 fallos/hora 3fallos/año  
t: 2160 horas 3 meses.

$$R(t) = e^{-\lambda * t} \Rightarrow e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = 0.477 \quad 47.7 \%$$

Por medio de la gestión apropiada del mantenimiento del sistema eléctrico subterráneo se mejora la tasa de fallos y se incrementa el nivel de confiabilidad.

Se evaluó el último periodo comprendido entre octubre de 2015 a octubre de 2016, y se comprobó la confiabilidad del sistema eléctrico subterráneo

Cálculo de la confiabilidad actual:

DATOS:

e: 2,718  
 $\lambda$ : 0.0001142 fallos/hora 1fallos/año  
t: 2160 horas 3 meses.

$$\lambda = \frac{\text{Número de fallos}}{\text{Tiempo de operacion}} \Rightarrow \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{8760} = 0.0001142 \text{ fallos/hora} \quad 1 \text{ fallos/año}$$

$$R(t) = e^{-\lambda * t} \Rightarrow e^{-\frac{1}{MTBF} * t} = 0.781 \quad 78.1 \%$$

#### **4.6 Validación de la hipótesis**

Las hipótesis a validar son las siguientes:

##### **HIPÓTESIS NULA**

El diseño de un sistema de Gestión para el Mantenimiento de cables subterráneos en el sistema eléctrico del bloque 31, No permite incrementar la confiabilidad del cable subterráneo, incrementar el nivel de seguridad para el personal y proteger el ecosistema que lo rodea.

##### **HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

El diseño de un sistema de Gestión para el Mantenimiento de cables subterráneos en el sistema eléctrico del bloque 31, Permite incrementar la confiabilidad del cable subterráneo, incrementar el nivel de seguridad para el personal y proteger el ecosistema que lo rodea.

Para la validación de la hipótesis se comparan dos escenarios, el primero que lo constituye la forma tradicional de cómo se estaba llevando el mantenimiento y el segundo que corresponde al escenario con el modelo de gestión de mantenimiento propuesto.

En la tabla 5-4 se detalla la comparación de parámetros entre los dos escenarios, la ponderación de los pesos se realiza considerando las recomendaciones del personal de Mantenimiento y Operaciones con mayor experiencia en el campo, se considera también el criterio del investigador y las recomendaciones de la Norma Venezolana COVENIN 2500-93 “Manual para evaluar los sistemas de mantenimiento en la industria.”

**Tabla 6-4** Matriz comparativa

Parámetro	Peso	Sistema de gestión	
		Actual	Propuesto
Organización, personal, relaciones (Seguridad)	16	6	11,28
Preparación y planificación del trabajo (Seguridad)	10	2,91	7,59
Ingeniería, inspección y Mnt preventivo	20	6,5	16,7
Compras y almacenes de MNT	10	3,5	7,3
Contratación	12	7,32	10,2
Presupuesto	12	6,6	9,78
Eficiencia (Ambiente)	20	10,6	16,1
<b>TOTAL</b>	100	43,43	78,95

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Cada uno de estos parámetros evaluados contiene sub áreas relacionadas, las cuales se determinaron en la sección 4.2 de este documento y se detallan en el Anexo F.

La herramienta utilizada para la comprobación de la hipótesis es el estadístico Test Student porque esta herramienta nos permite determinar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los valores obtenidos antes y después de un tratamiento para poder afirmar o negar una hipótesis.

#### RESULTADOS: TEST STUDENT

##### Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	
Media	6,2043	11,2786	
Varianza	6,5031	14,2469	
Observaciones	7,0000	7,0000	
Coefficiente de correlación de Pearson	0,7603		
Diferencia hipotética de las medias	0,0000		
Grados de libertad	6,0000		
Estadístico t	-5,4299		
P(T<=t) una cola	0,0008		
Valor crítico de t (una cola)	1,9432		
P(T<=t) dos colas	0,0016		PROBABILIDAD ERROR
Valor crítico de t (dos colas)	2,4469		

ALFA: 5% = 0.05

Como el estadístico t es menor que el valor crítico de t, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis de investigación.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA

#### 5.1 Gestión del mantenimiento de cables subterráneos en el Bloque 31

Tomando como referencia la información y resultados obtenidos en los capítulos anteriores, se desarrolla un modelo de gestión para el mantenimiento de cables subterráneos esquematizado en la figura 1-5



**Figura; 1-5** Estructura del modelo de gestión planteado  
Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Este modelo esta soportado sobre cuatro pilares fundamentales:

- Inventario de cables a mantener.
- Análisis de criticidad del sistema eléctrico subterráneo.
- Plan de mantenimiento.
- Control y mejora continua.

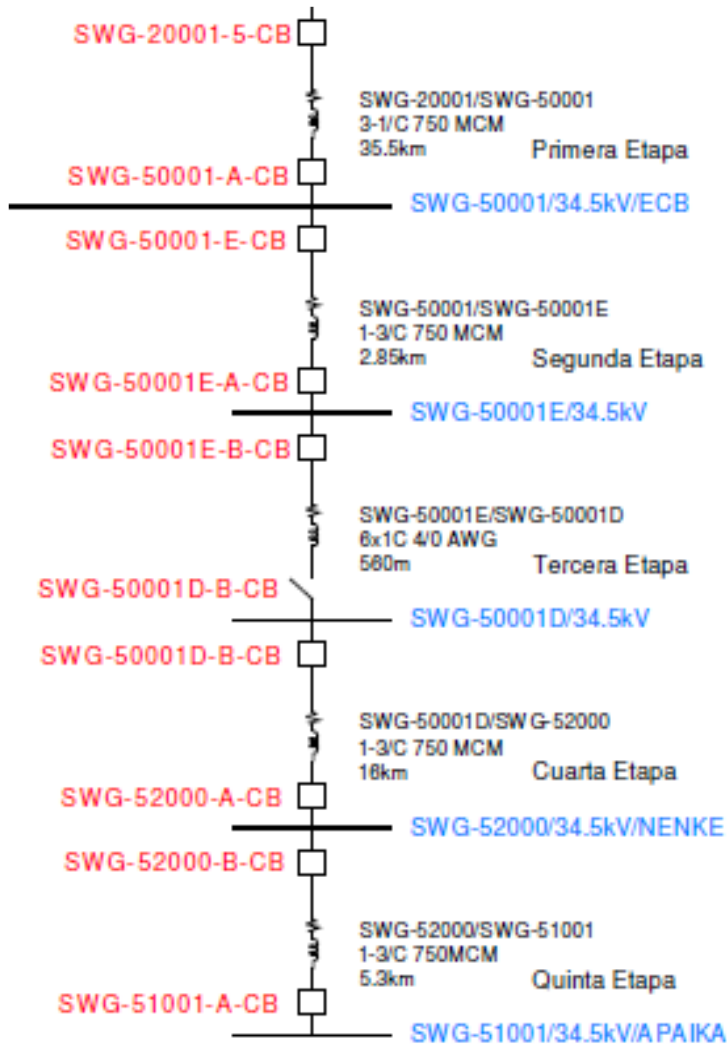
#### 5.2 Inventario de cables

El inventario de cables a mantener se obtiene del esquema unifilar detallado en el ANEXO C.

Se divide el cable subterráneo motivo de estudio en cinco tramos o etapas tal como se indica en la figura 2-5 y se les asigna a cada tramo una codificación que facilite su identificación dentro del proceso de gestión de mantenimiento.



Esta codificación se detalla en la tabla 1-5



**Figura; 2-5** Etapas del cable subterráneo

Fuente: Diagramas unifilares Bloque 31.

**Tabla 1-5** Codificación del cable subterráneo

CÓDIGO	TRAMO/ETAPA
EPF-ECB	PRIMERA ETAPA
ECB-TPTN	SEGUNDA ETAPA
TPTN-TPTS	TERCERA ETAPA
TPTS-NNK	CUARTA ETAPA
NNK-APK	QUINTA ETAPA

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Los códigos son asignados bajo el criterio de fácil entendimiento para los encargados de las tareas de mantenimiento, no se aplicó ninguna normativa para esta codificación.

### 5.3 Análisis de criticidad

Para el análisis de criticidad del sistema eléctrico subterráneo se plantea la distribución del cable por tramos y no como equipos, como comúnmente se realiza.

Para el análisis se empleó la matriz de criticidad según el standard NORSOK Z-008, detallada en la figura 3-5.

FRECUENCIA	4	SC	C	C	MC	MC
	3	SC	SC	C	MC	MC
	2	NC	NC	SC	C	C
	1	NC	NC	SC	SC	C
		3-12	13-24	25-36	37-48	49-60
		CONSECUENCIAS				

**Figura; 3-5** Matriz de criticidad

Fuente: Agüero, 2007

Dónde:

NC	No Crítico, Riesgo Bajo
SC	Semi crítico, Riesgo Medio Bajo
C	Crítico, Riesgo Medio Alto
MC	Muy Crítico, Riesgo Alto

Los criterios utilizados para evaluar el impacto de la falla se detallan en la Tabla 2-5, también se indican las cuantificaciones asignadas a cada criterio.

Los valores de las cuantificaciones fueron obtenidos en base a entrevistas mantenidas con profesionales experimentados en el área del análisis de criticidad y también en conversatorios con el personal de mayor experiencia tanto del área operativa como del área de mantenimiento.

**Tabla 2-5** Criterios para evaluar la criticidad

<b>Criterios para determinar la criticidad</b>	<b>Cuantificación</b>
<b>FRECUENCIA DE FALLAS:</b>	
Mayor a 4 fallas/año	4
2-4 fallas/año	3
1-2 fallas/año	2
Mínimo 1 falla/año	1
<b>IMPACTO OPERACIONAL</b>	
Parada inmediata de todo el Bloque 31; Tramo EPF-ECB	10
Parada de producción APK y NNK; Tramo ECB-NNK	8
Parada de producción APK; Tramo NNK-APK	6
Repercute a costos operacionales pequeños (desbalance )	3
No genera ningún efecto significativo sobre las demás operaciones	1
<b>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL</b>	
No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	5
Hay opción de repuesto compartido	4
Función de repuesto disponible	3
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>	
Mayor o igual a \$15.000	2
Menor a \$15.000	1
<b>IMPACTO EN LA SEGURIDAD AMBIENTAL Y HUMANA</b>	
Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	8
Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Provoca daños menores (accidentes o incidentes)	2
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas	1

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Cálculo de la criticidad:

$$CRITICIDAD = Frecuencia \times Consecuencia$$

$$\begin{aligned} \text{Consecuencia} &= [\text{Impacto operacional} * \text{Flexibilidad}] + \text{Costo de MNT} \\ &+ \text{Impacto SAH} \end{aligned}$$

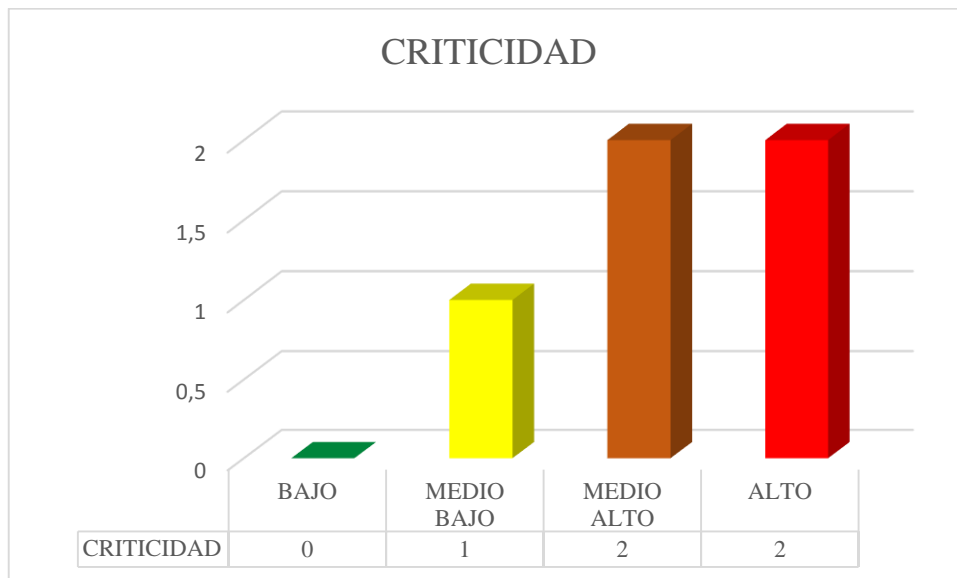
En la tabla 3-5 se consolidan los resultados obtenidos para cada uno de los tramos del cable subterráneo en el Bloque 31.

**Tabla 3-5** Análisis de criticidad

ANALISIS DE CRITICIDAD		FRECUENCIA DE FALLAS				IMPACTO OPERACIONAL				FLEXIBILIDAD		COSTO		IMPACTO SAH				FRECUENCIA	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD			
		MAYOR A 4 FALLAS AL AÑO	2-4 FALLAS AL AÑO	1-2 FALLAS AL AÑO	MINIMO 1 FALLA AL AÑO	Parada inmediata de todo el bloque 31; Tramo EPF-ECB	Parada de producción APK y NNK; Tramo ECB-NNK	Parada de producción APK; Tramo NNK-APK	Repercute a costos operacionales pequeños (desbalance )	No genera ningún efecto significativo	No existe opción de producción y no hay forma de recuperarlo	Hay opción de producción parcial	Función de repuesto disponible	Mayor o igual a \$15.000	Menor a \$15.000	Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna	Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles				Afecta las instalaciones causando daños severos	Provoca daños menores (accidentes o incidentes)	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas
		4	3	2	1	10	8	6	3	1	5	4	3	2	1	8	6				4	2	1
CODIGO	DESCRIPCION																						
EPF-ECB	PRIMERA ETAPA, TRAMO 1, ENTRE EPF-ECB																			3	56		
ECB-TPTN	SEGUNDA ETAPA, TRAMO 2, ENTRE ECB Y TIPUTINI NORTE																			2	46		
TPTN-TPTS	TERCERA ETAPA, TRAMO 3, ENTRE TIPUTINI NORTE Y TIPUTINI SUR																			3	46		
TPTS-NNK	CUARTA ETAPA, TRAMO 4, ENTRE TIPUTINI SUR Y NENKE																			2	46		
NNK-APK	QUINTA ETAPA, TRAMO 5, ENTRE NENKE Y APAIKA																			2	30		

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Los resultados obtenidos en el análisis de criticidad indican que los tramos 1 y 3 del cable subterráneo son los más críticos, los tramos 2 y 4 se ubican dentro de un riesgo medio alto y el tramo 5 se encuentra dentro de un nivel de riesgo medio bajo. Estos resultados se pueden observar gráficamente en la Figura 4-5



**Figura; 4-5** Representación gráfica criticidad en el sistema eléctrico subterráneo  
Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

#### 5.4 Clientes internos del departamento de Mantenimiento

La Gestión del Mantenimiento de los cables subterráneos vincula directamente a los clientes internos del departamento mantenimiento. Por un lado la relación con el departamento de Operaciones es fundamental para coordinar las actividades de mantenimiento programado.

Con el departamento de Seguridad Salud y Ambiente se manejan los indicadores de accidentabilidad y se programan los recorridos por el trayecto del cable sin afectar el ecosistema que rodea el cable subterráneo.

El departamento de Seguridad Física también brinda su soporte en relación al resguardo y la seguridad del personal y el patrullaje continuo del derecho de vía.

## **5.5 Plan de mantenimiento**

### *5.5.1 Enfoque*

El presente plan garantiza la disponibilidad y adecuado funcionamiento de la red de cableado eléctrico subterráneo de media tensión en el Bloque 31, disminuyendo fallas imprevistas, incrementando la fiabilidad, permitiendo la optimización de los recursos y reduciendo los costos de la operatividad; de tal manera que se contribuya a la eficiencia del Bloque 31 tomando en consideración el factor medioambiental.

### *5.5.2 Objetivo*

Realizar un plan de mantenimiento que permita conocer la organización estructural, actividades, infraestructura e información necesaria para el funcionamiento adecuado del área optimizando los tiempos y logrando la eficiencia del proceso de mantenimiento.

### *5.5.3 Alcance*

El presente plan abarca a todo el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31, haciendo referencia específica en el área de mantenimiento.

### *5.5.4 Aspectos generales*

El tiempo de vida útil de un cable depende de cómo el aislante se conserve en ciertas condiciones de funcionamiento tales como temperatura ambiente, temperatura de operación, humedad, corriente circulante por el cable, contaminación externa, entre otros.

Para el cumplimiento del objetivo se deben emplear los métodos que consisten en la formación adecuada del personal operativo, utilización de equipos, herramientas y repuestos adecuados, definición de responsabilidades y procesos de mantenimiento.

Para el desarrollo del mantenimiento se emplean diversas técnicas de diagnóstico aplicadas a los distintos elementos de la red eléctrica subterránea.

### 5.5.5 Manejo de la información

#### 5.5.5.1 Formatos para registro de mantenimiento y de trabajo.

Es necesario la creación de formatos específicos para el área de mantenimiento de la red eléctrica de cables subterráneos de media tensión, con lo cual se pueda realizar un control adecuado del área; dentro de éstos registros se debe integrar una orden de trabajo, principal instrumento para el control de las actividades, luego de ello se deben establecer formatos para registros e historiales donde se condensa toda esta la información referente a los mantenimientos.

Con esta información recopilada en los formatos se pueden tener datos exactos del comportamiento del área de mantenimiento y de cuál es la dirección que debe tomar el área.

Dentro del departamento de mantenimiento se debe llevar un archivo físico y digital con toda la información relacionada con el sistema eléctrico subterráneo por medio de los formatos siguientes:

**Tabla 4-5** Formato: Orden de Trabajo

ORDEN DE TRABAJO			
SOLICITADO POR:			
AUTORIZADO POR:			
DESCRIPCIÓN			
LUGAR		FECHA	
EQUIPO			
OBSERVACIONES:			
FIRMA SOLICITANTE		FIRMA EJECUTOR	

Elaborado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Tabla 5-5** Formato: Registro e historial

<b>REGISTRO E HISTORIAL DE INTERVENCIONES POR MANTENIMIENTO</b>													
ACTIVIDAD PRINCIPAL POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO	TIEMPO HORAS / HOMBRE DE LA TAREA	TIEMPO/FECHA											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>Actividad 1</b>													
<b>Actividad 2</b>													
<b>Actividad 3</b>													
<b>Actividad 4</b>													
<b>Actividad 5</b>													
<b>Actividad 6</b>													
<b>Actividad 7</b>													
<b>Actividad 8</b>													
<b>TIEMPO TOTAL DE HORAS /HOMBRE EN CADA MANTENIMIENTO</b>													

08



**Tabla 6-5** Formato: Gastos de mantenimiento

Registro de Gastos por Mantenimiento							Año	
OT	Repuestos/insumos utilizados	Costo	Horas hombre	Costo	Fecha	Costo total		
						MP	MC	
Registrado por:				Fecha:				

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Tabla 7-5** Formato: Requerimiento de compra

Requerimiento de Compra					AÑO
Descripción	Material	Cantidad	Características	Proveedor	Costo
Registrado por:					Fecha:

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

### 5.5.6 Cargos y Responsabilidades

A continuación se detalla la cantidad requerida de talento humano para una eficiente operatividad del plan propuesto:

**Tabla 8-5** Cargos y Actividades Principales

<b>Departamento de Mantenimiento Bloque 31</b>		
<b>Puesto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividades dentro del proceso</b>
Superintendente de Mantenimiento	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar el plan de Mantenimiento.</li> <li>• Desarrollo y control del presupuesto anual del área de mantenimiento.</li> <li>• Elaborar el plan de mantenimiento preventivo y correctivo de la red en todas sus rutas dentro del Bloque 31.</li> <li>• Control de stock de materiales y repuestos.</li> <li>• Control de la información ingresada en la base de datos de la planificación de mantenimiento.</li> <li>• Controlar la información de los registros históricos de la red.</li> <li>• Autorización para la compra de repuestos e insumos.</li> <li>• Identificación de necesidades de personal técnico y capacitación.</li> <li>• Evaluación y asignación de puestos.</li> </ul>
<b>Puesto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividades dentro del proceso</b>
Supervisor de Mantenimiento	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar la Orden de trabajo y cartillas de inspección.</li> <li>• Direcccionar la orden de trabajo al personal de mantenimiento.</li> <li>• Retroalimentación constante a las hojas de registro de la red eléctrica.</li> <li>• Detectar necesidades del personal mantenimiento.</li> <li>• Controlar las tareas del personal a cargo.</li> <li>• Elaboración, control y verificación de la solicitud de materiales, reporte diario de actividades.</li> </ul>

<b>Puesto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividades dentro del proceso</b>
Técnico de Mantenimiento	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ejecutar trabajos solicitados de acuerdo a las órdenes de trabajo preventivo, o correctivo.</li> <li>• Realizar control diario de inspección según formato.</li> <li>• Informar novedades detectadas en las inspecciones a su cargo jefe inmediato.</li> <li>• Entrega en bodega de repuestos usados.</li> <li>• Seguimiento de los repuestos enviados a las diferentes rutas de la red eléctrica.</li> <li>• Ejecutar la Orden de trabajo y formatos de inspección.</li> <li>• Detectar necesidades de mantenimiento.</li> </ul>
<b>Puesto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Actividades dentro del proceso</b>
Ayudante de Mantenimiento	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo en actividades de Mantenimiento</li> <li>• Verificar herramientas necesarias antes de la movilización</li> <li>• Realizar control diario de talleres.</li> <li>• Informar novedades detectadas en las inspecciones y recorridos.</li> <li>• Detectar necesidades de mantenimiento.</li> </ul>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

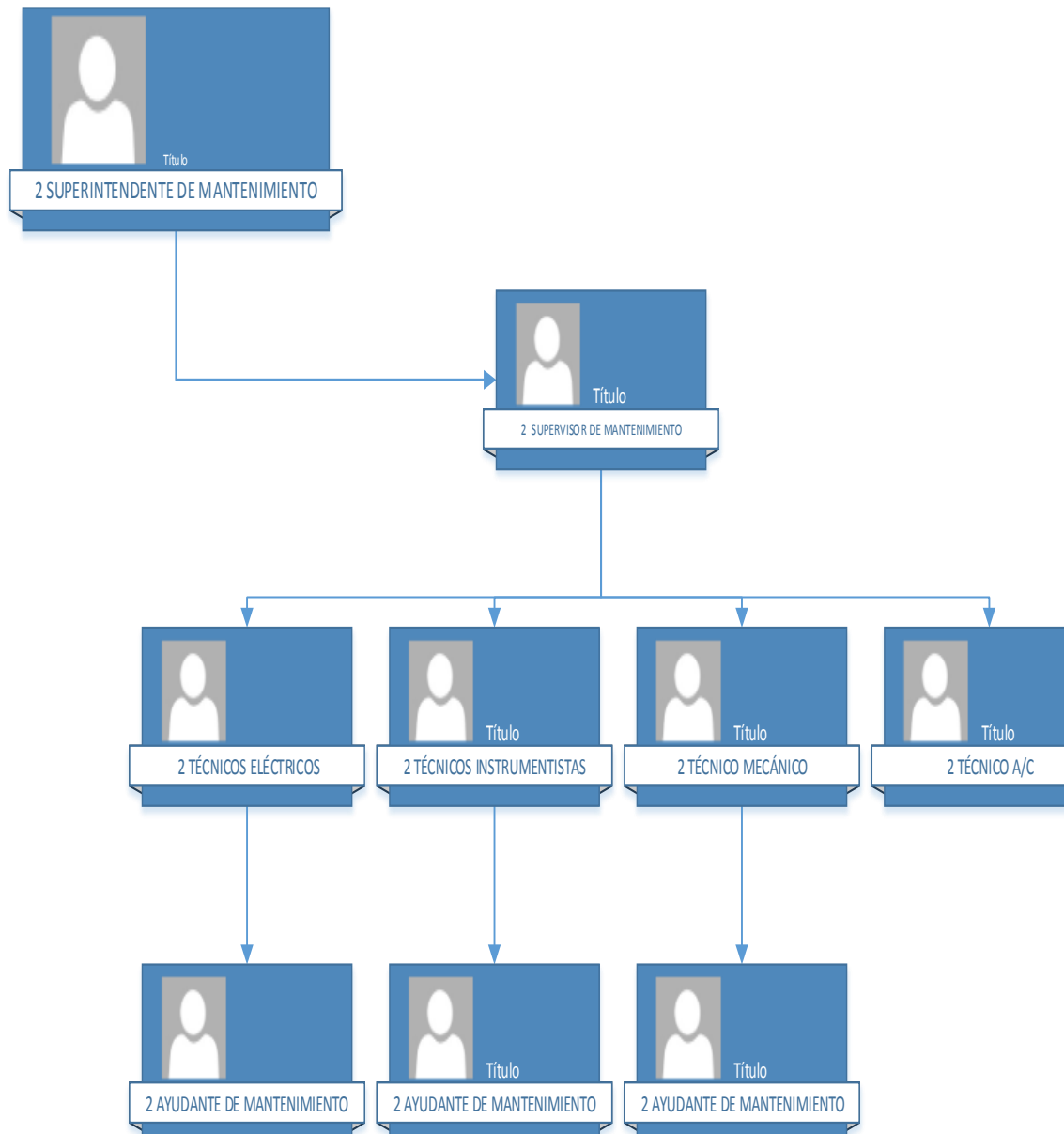
Se debe considerar que tanto en el organigrama de la figura 5-5 como en la tabla 8-5 se incluyen únicamente las posiciones del departamento de mantenimiento.

Cada una de estas posiciones es cubierta por dos personas laborando en jornada de 14/14 días, es decir cuando una persona está en su jornada de trabajo, la otra persona (back up) está en su descanso.

Si se cuenta el número de personas que pertenece al departamento de mantenimiento tenemos un total de 18 personas, las cuales cubren 8 posiciones en el departamento.

### 5.5.7 Estructura del Departamento de Mantenimiento

La estructura organizacional del Departamento de Mantenimiento del Bloque 31 se detalla en la figura 5-5.



**Figura; 5-5** Organigrama Departamento de Mantenimiento Bloque 31  
Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

### 5.5.8 Equipamiento necesario

Se detalla el equipamiento requerido para desarrollar el plan de mantenimiento.

**Tabla 9-5** Equipamiento

Área	Cantidad	Descripción
Tecnológica	6	Computadoras personales.
	1	Power fault locator MEGGER
	1	TDR-5000 MEGGER
	1	Software gráfico
	1	Equipo para Ultrasonido
	1	Cámara termográfica
	1	Equipo VLF Very Low Frequency
	1	Detector de cables L1070
	1	Megóhmetro
Comunicación	1	Servicio de Internet
	2	Teléfonos satelitales
	6	Radio de comunicaciones
Física	1	Oficina, Planificación de mantenimiento
	1	Oficina Supervisión.
	1	Campers para equipo operativo
	2	Vehículo camioneta doble cabina
	1	Varios herramientas de uso mecánico y eléctrico
	1	Herramientas hidráulicas, neumáticas

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

### 5.5.9 Tareas de Mantenimiento

Los formatos de las tareas de mantenimiento contienen información relacionada al detalle de las actividades a realizar.

El documento incluye la siguiente información:

- TAREA
- FRECUENCIA
- RESPONSABLE
- MATERIALES
- CANTIDAD

Las tareas se codifican por categorías, tal como se indica en la tabla 4-5.

**Tabla 10-5** Clasificación de las tareas de mantenimiento

<b>TIPOS</b>	
<b>A</b>	Limpieza
<b>B</b>	Inspección
<b>C</b>	Prueba
<b>D</b>	Reparación
<b>E</b>	Cambio

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Todas las tareas de mantenimiento que constan en este plan, son ingresadas al computerized maintenance management system CMMS MAXIMO, que es el software de mantenimiento que utiliza la empresa actualmente.

Por medio de MAXIMO se planifican las tareas según el calendario de frecuencias ya establecido.

Cabe indicar que en el módulo de tareas de MAXIMO no existía ninguna de las tareas relacionadas con cables subterráneos, por lo que fue necesario incorporarlas al módulo de tareas.

**Tabla 11-5** Formato: Tareas de Mantenimiento

<b>Cód</b>	<b>Tarea</b>	<b>Frec</b>	<b>Resp</b>	<b>Material</b>	<b>AÑO</b>
					<b>Cant</b>
A	Limpieza de puntas terminales	1M	Técnico Eléctrico		
A	Limpieza de cable en su parte visible	1M	Técnico Eléctrico		
B	Captura termográfica de puntas terminales	3M	Técnico Eléctrico		
B	Inspección con ultrasonido	3M	Supervisor de Mantenimiento		
A	Recorrido por el trayecto del cable	3M	Técnico Eléctrico		

C	Prueba Very Low Frequency	3M	Supervisor de Mantenimiento		
B	Monitoreo de parámetros eléctricos del cable	1M	Técnico Eléctrico		
C	Prueba de Reflectometría en el dominio de tiempo	1A	Supervisor de Mantenimiento		
C	Prueba de Descargas parciales	2A	Supervisor de Mantenimiento		
C	Prueba tangente delta	2A	Supervisor de Mantenimiento		
B	Verificar señalización	1M	Técnico Eléctrico		
D	Reparación de empalme	3A	Técnico Eléctrico		
E	Cambio de sección	5A	Técnico Eléctrico		
Actualizado por:				Fecha:	

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

Al final de la tabla consta un casillero asignado para registrar las posibles actualizaciones que se puedan dar a futuro y la fecha en la que se realicen.

#### 5.5.10 Información requerida

A continuación en la tabla 12-5 se detalla la información requerida por parte de cada uno de los cargos involucrados en el área de mantenimiento.

En esta etapa es importante la información entregada y aportes de todos los departamentos, en especial de los encargados de la construcción de las facilidades eléctricas en todo el bloque 31.

**Tabla 12-5** Información Requerida

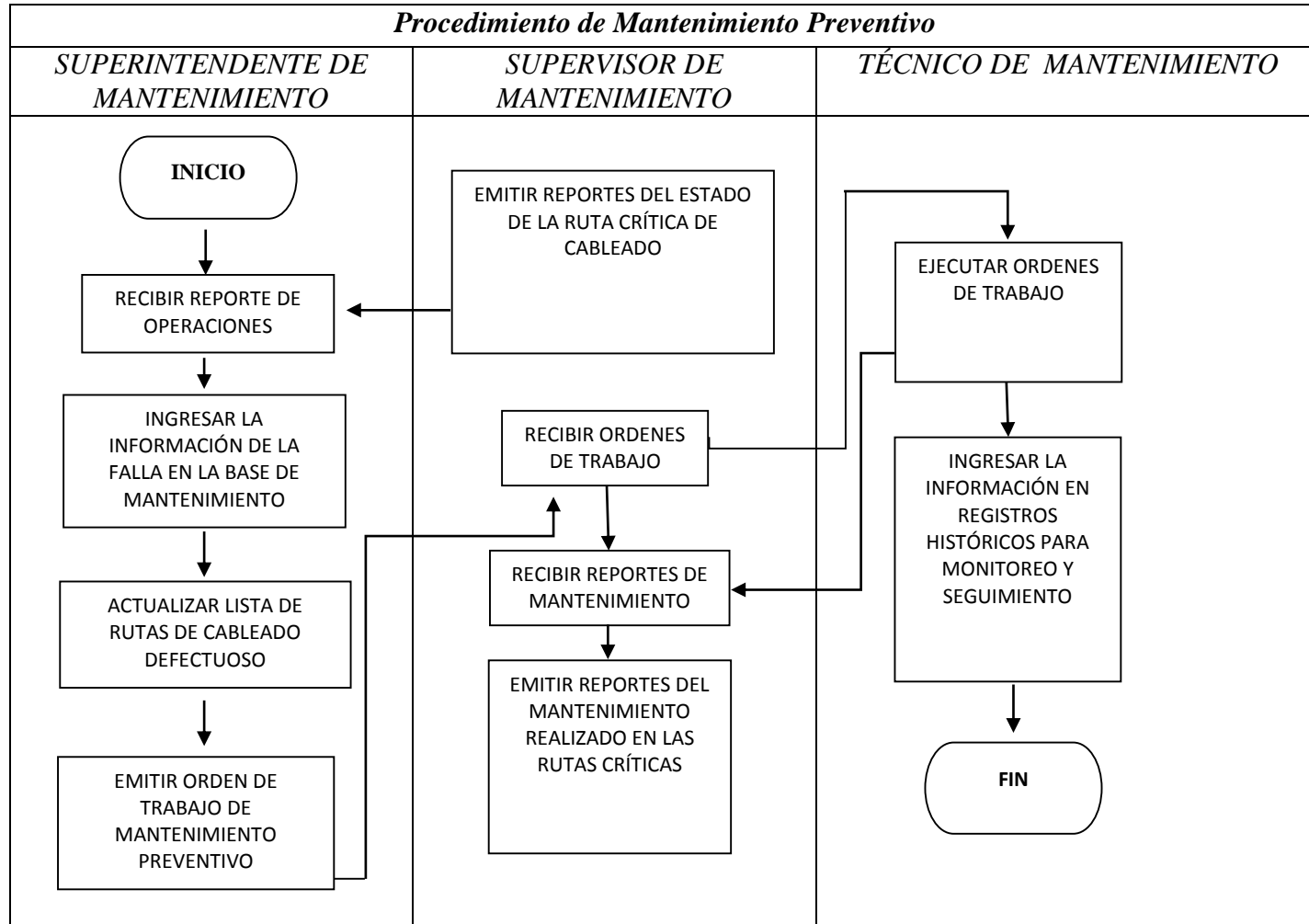
<b>Responsable</b>	<b>Información requerida</b>
Superintendente de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reporte de rutas de cableado eléctrico, enviado por el supervisor</li> <li>• Elaborar orden de pedido de repuestos y ordenes de trabajo.</li> <li>• Reporte de órdenes de trabajo realizadas en formato diario.</li> <li>• Informe de monitoreo constante de las rutas de cableado eléctrico en base a los registros históricos.</li> <li>• Reporte de fallas y de recursos utilizados.</li> </ul>
Supervisor de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de las hojas de vida.</li> <li>• Planificación de los trabajos a realizarse.</li> <li>• Reporte semanal de las operaciones realizadas con respecto al control y monitoreo de las rutas de cableado eléctrico subterráneo en Bloque 31.</li> <li>• Coordinación de requisiciones de repuestos.</li> <li>• Levantamiento topográfico del recorrido de cable subterráneo</li> <li>• Coordenadas de ubicación de todos los empalmes</li> <li>• Niveles de carga circulante por el cable subterráneo</li> <li>• Informe de actividades de campo</li> <li>• Resultados de análisis y pruebas de campo</li> <li>• Manuales de fabricante</li> </ul>

Realizado por: TAYUPANTA, William, 2015

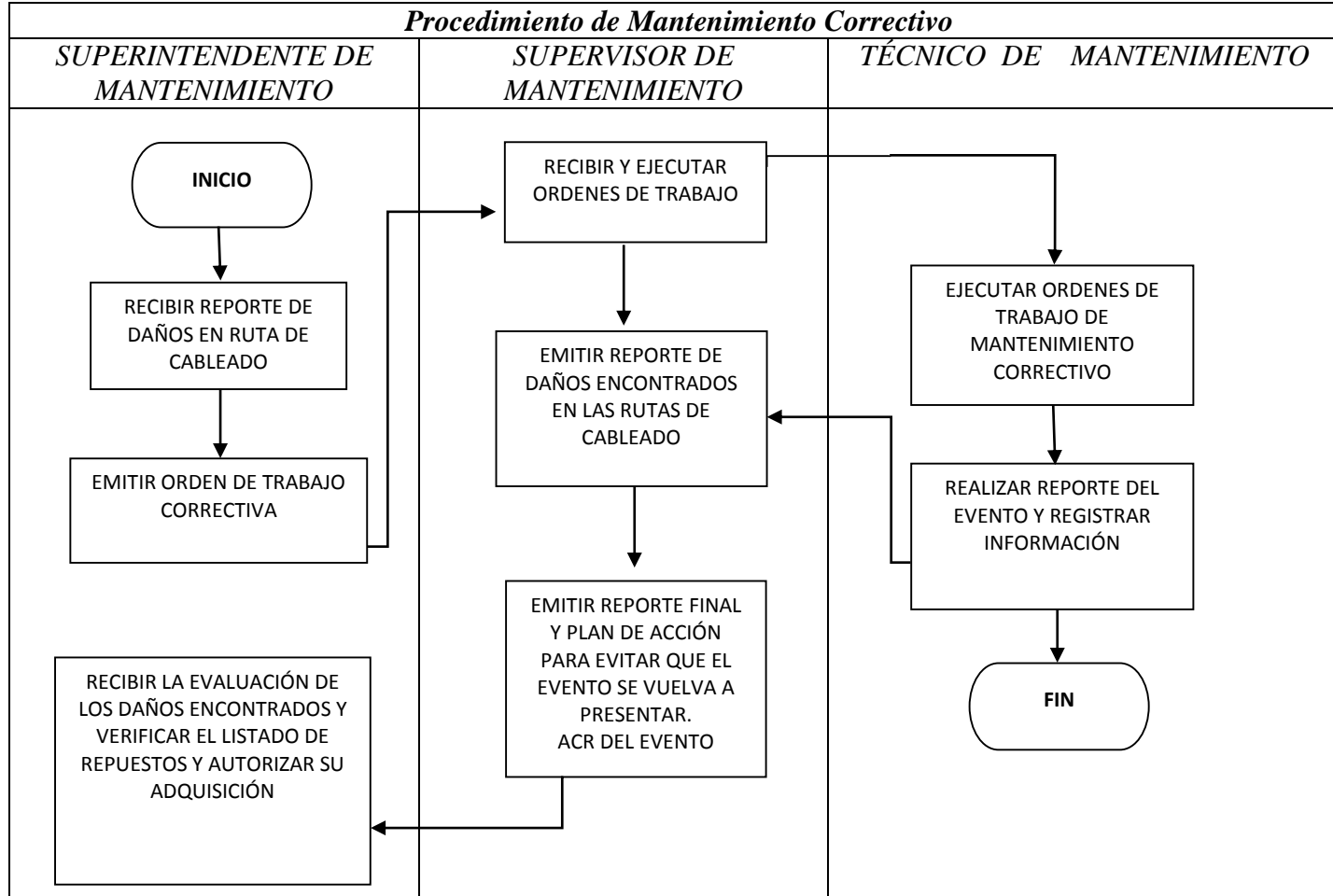


5.5.11 Flujo de ejecución

**Tabla 13-5** Procedimiento Mantenimiento Preventivo.



**Tabla 14-5** Procedimiento Mantenimiento Correctivo



Elaborado por: TAYUPANTA, William, 2015

**Tabla 15-5.** Directrices Mantenimiento Preventivo

<b>Procedimiento de Mantenimiento Preventivo.</b>			
<b>Actividad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fin</b>
<i>Elaboración del Reporte de Trabajo</i>	<i>1. En el formato de Reporte diario el personal operativo puede de manera directa informar sobre las novedades con referencia a posibles fallas en las diversas rutas de la red de cableado eléctrico de media tensión.</i>	<i>Técnico de Mantenimiento</i>	<i>Reporte por cada trabajo a realizar</i>
<i>Evaluación sobre los trabajos a realizar.</i>	<i>2. El supervisor analiza e instruye sobre los trabajos a desarrollar al personal especializado de mantenimiento preventivo.</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Evaluación por cada trabajo a realizar</i>
<i>Ingresar la información en la base de Mantenimiento</i>	<i>3. Cuando se tiene la información del reporte final, se deberá ingresar la información en el formato de registros históricos para a su vez ingresar en la Base de mantenimientos.</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Base de mantenimiento.</i>
<i>Generar la orden de trabajo para mantenimiento preventivo.</i>	<i>4. Cuando se verifica algún tipo de novedad que genere alarma en la operatividad del Bloque o algún módulo específico, se deberá proceder a emitir las órdenes de trabajo el mismo que contiene los trabajos que deberán ejecutarse por el personal de mantenimiento preventivo especializado.</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Orden de trabajo preventivo</i>
<i>Imprimir orden de trabajo</i>	<i>5. Los trabajos a realizarse deberán ser analizados y se elaborara la orden de trabajo y se coordinará con el personal de bodegas para los repuestos e insumos requeridos.</i>	<i>Supervisor de mantenimiento</i>	<i>Orden de trabajo</i>

<i>Generar orden de pedido de los insumos y/o repuestos a utilizar</i>	<i>6. Emitir la solicitud de insumos y coordinar con bodega la recepción y verificación correcta de los repuestos.</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Orden de Solicitud de insumos y repuestos</i>
<i>Entregar al personal especializado en mantenimiento preventivo OT</i>	<i>7. Los responsables de realizar el trabajo reciben la orden de trabajo preventivo. Conjuntamente con los repuestos e insumos para realizar el mantenimiento preventivo.</i>	<i>Supervisor de mantenimiento</i>	<i>Orden de Trabajo entregado</i>
<i>Efectuar los mantenimientos emitidos en la orden de trabajo</i>	<i>8. El personal especializado en mantenimiento preventivo deberá realizar el trabajo tomando todas las medidas de seguridad pertinentes para la ejecución del trabajo.</i>	<i>Técnico de Mantenimiento</i>	<i>Ejecución del trabajo.</i>
<i>Requerimiento de Trabajos externos</i>	<i>9. Emitir la orden de servicio y reportar los resultados para ingresar en los registros históricos.</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Orden de compra y/o servicio</i>
<i>Reportar la utilización de repuestos e insumos</i>	<i>10. Cuando se ha terminado el trabajo se deberá emitir el formato. Con las firmas de responsabilidad de operario.</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Reporte de Orden de Trabajo.</i>
<i>Cierre de la orden de trabajo de mantenimiento</i>	<i>11. La información de las actividades realizadas en mantenimiento será entregado y remitido a la base de mantenimiento.</i>	<i>Técnico de Mantenimiento</i>	<i>Reporte cierre de orden de trabajo.</i>
<i>Ingresar la información a la base de datos de mantenimiento</i>	<i>12. Al recibir el reporte de cierre de la orden de trabajo se deberá ingresar al sistema la información para alimentar la base de datos de mantenimientos</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Base de datos (Digital).</i>

**Tabla 16-5.** Directrices Mantenimiento Correctivo

<i>Procedimiento de Mantenimiento Correctivo</i>			
<i>Actividad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Responsable</i>	<i>Fin</i>
<i>Realizar orden de trabajo mantenimiento correctivo</i>	<i>De acuerdo al análisis realizado por el equipo operativo, inclusive por el equipo de preventivos.</i>	<i>Supervisor de Mantenimiento</i>	<i>Orden de trabajo para mantenimiento correctivo.</i>
<i>Recibir orden de trabajo para mantenimiento correctivo</i>	<i>El formato de orden de trabajo para mantenimiento correctivo se envía electrónicamente al supervisor de mantenimiento para que se direccionen los trabajos.</i>	<i>Superintendente de Mantenimiento</i>	<i>Orden de mantenimiento correctivo recibida.</i>
<i>Generar orden de pedido de los materiales y/o repuestos a utilizar</i>	<i>Emitir la solicitud de materiales y coordinar con bodega la recepción y verificación correcta de los repuestos.</i>	<i>Supervisor de mantenimiento</i>	<i>Orden de Solicitud de insumos y repuestos</i>
<i>Realiza trabajos emitidos en la OT.</i>	<i>El personal de mantenimiento deberá realizar los trabajos de mantenimiento correctivo tomando todas las medidas para efectuar los trabajos con seguridad y respetando el ambiente.</i>	<i>Técnico de Mantenimiento</i>	<i>Ejecución de los trabajos.</i>
<i>Ingresar a la base de datos de mantenimiento</i>	<i>La información proporcionada es ingresada a la base de mantenimiento. La información para alimentar la base y de los registros históricos de la red se alimentan de la información generada de las ordenes de trabajo.</i>	<i>Superintendente de Mantenimiento</i>	<i>Base Digital.</i>

Elaborado por: TAYUPANTA William, 2016

### 5.5.12 *Instructivos*

Los instructivos están orientados a convertirse en una guía para el personal de mantenimiento.

Están orientados hacia las pruebas eléctricas que se realizan al cable subterráneo.

Las pruebas son realizadas periódicamente según lo establecido en el plan o cuando se ha presentado algún evento que pone en riesgo la operatividad del cable.

Las pruebas sirven para determinar el grado de envejecimiento del cable, sea por el paso de los años, por eventos mecánicos, eléctricos, térmicos, físicos o químicos.

Sirven también para verificar si se mantienen las condiciones ideales para seguir operando, también son de gran ayuda para programar intervenciones o paradas futuras y evitar fallas catastróficas.

Los instructivos para las pruebas eléctricas se encuentran detallados en el anexo H

## **5.6 Control y mejora**

Para poder cerrar el ciclo del modelo de gestión de mantenimiento para el sistema eléctrico subterráneo, se requiere del control y mejora permanente orientado hacia los tres pilares fundamentales:

- Inventario de cables a mantener.
- Análisis de criticidad del sistema eléctrico subterráneo.
- Plan de mantenimiento.

### 5.6.1 *Control y mejora del inventario de equipos a mantener*

La verificación debe realizarse semestralmente contrastando en campo físicamente la lista del inventario inicial con la realidad actual de los equipos, se debe verificar: su ubicación, el área o sistema al que pertenece.

Si existen modificaciones se deben incluir en el inventario y actualizar la información.

#### *5.6.2 Control y mejora del análisis de criticidad*

Los resultados del análisis de criticidad deben verificarse semestralmente, evaluando si mantienen su nivel de criticidad o cambio su condición.

Esta información debe registrarse según la matriz de criticidad de todo el sistema.

La actualización de esta matriz es responsabilidad del supervisor de Mantenimiento.

#### *5.6.3 Control y mejora del plan de mantenimiento.*

Se deben evaluar semestralmente cada una de las partes constitutivas del plan de mantenimiento, adaptándolo y mejorándolo en función de los cambios que se presenten en el sistema.

Se deben verificar tareas, frecuencias, responsabilidades, materiales y equipos, flujos de trabajo y todo lo que aporte para el mejoramiento del plan de mantenimiento.

Esta información debe ser registrada con fecha de cambio y es responsabilidad del supervisor de mantenimiento.

## CONCLUSIONES

- Por medio del diagnóstico de la situación actual, se identificó que no se cuenta con documentación, registros o un plan de mantenimiento establecido, es decir, no existía un modelo de gestión del mantenimiento para el sistema eléctrico subterráneo del Bloque 31.
- La eficiente gestión para el mantenimiento del sistema eléctrico subterráneo incrementa considerablemente los índices de confiabilidad del sistema, reduce las pérdidas de producción y minimiza el impacto a la naturaleza y a las personas. Hasta el momento se ha mejorado el índice de confiabilidad desde 47.4% hasta 78.1% pero todavía no es suficiente.
- Un cable subterráneo representa un costo de inversión elevado si se lo compara con los sistemas aéreos tradicionales, Gestionando adecuadamente su mantenimiento se logra que la inversión sea plenamente justificada.
- En el Ecuador, en los últimos años se ha incrementado la utilización de cables subterráneos, por lo que esta investigación sirve como referencia para gestionar el mantenimiento de los sistemas eléctricos subterráneos en otros campos de producción.



## RECOMENDACIONES

- Aplicar el modelo de gestión del mantenimiento planteado en este documento y actualizarlo permanentemente adaptándolo a los continuos cambios y mejoras que se pueden presentar a futuro.
- Monitorear permanentemente la gestión del mantenimiento implementada, los índices de confiabilidad y los registros de pérdidas de producción son indicadores que dan la pauta sobre la efectividad de la gestión aplicada. Se debe mejorar continuamente el índice de confiabilidad actual
- En base a los resultados obtenidos en esta investigación plantear alternativas para reducir el índice de accidentabilidad actualmente establecido para este campo de producción.
- Realizar auditorías internas periódicas con la finalidad de identificar posibles desviaciones en el modelo planteado y corregirlas a tiempo asegurando la continuidad del servicio eléctrico en el Bloque 31.
- Ampliar el modelo de gestión del mantenimiento propuesto de tal forma que no sea aplicable solo en este campo de producción Bloque 31, sino también en otros bloques donde también cuentan con cables eléctricos subterráneos.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUERO, M.** (2007). *Analisis de Criticidad Integral de Activos*. Proceso para determinar la criticidad del sistema. Maracaibo-Venezuela: R2M. p89

**ALBA, R. G.** (2016). *Evaluacion de la función mantenimiento*. [en línea]. Funciones basicas del mantenimiento.

[Consulta: 5 de marzo 2016]

Obtenido de: [www.scielo.sld.cu](http://www.scielo.sld.cu)

**ARBIZU, A.** (2001). *“Implantación del mantenimiento preventivo y del automantenimiento en una planta”*. Etapas del mantenimiento preventivo. Madrid-España: PFC. p73

**BEDOYA, C. M.** (2014). *ISO 55000 Gestion de activos*. [Revista] XXXI Congreso Tecnico Ficem, Caracteristicas de la gestion de activos. Santo Domingo- Republica Dominicana. p20

**CONDUMEX.** (2015). *Catalogo de cables para distribucion en media tension*. [en Línea] Caracteristicas del cable subterraneo.

[Consulta: 12 de febrero 2015]

Obtenido de: [www.condumex.com.mx](http://www.condumex.com.mx)

**ECHARTE, S.** (2001). *Implantación de programa de mantenimiento predictivo basado en el análisis de ultrasonido*. Aplicación de tecnicas fundamentales de ultrasonido, Madrid-Espana: PFC. p125

**ECUADOR, Centro de investigacion y capacitacion electrica, (CICE).** (2016). *Manual, Riesgos de la corriente electrica*. Quito-Ecuador. p23

**ECUADOR, Agencia de control y regulacion de la electricidad. (ARCONEL).** (2016). *Niveles de voltaje en el Ecuador*. [en linea]. Quito, Pichincha, Ecuador.

[Consulta: 25 de septiembre 2016]

Obtenido de: [www.regulacionelectrica.gob.ec](http://www.regulacionelectrica.gob.ec)

**ESPAÑA, Asociacion espanola de Normalizacion. (AENOR),** (2016). *Normas aplicables al mantenimiento industrial*. [en linea] Madrid-España.

[Consulta: 2 de febrero 2016]

Obtenido de: [www.aenor.es](http://www.aenor.es)

**FERNANDEZ, F. J.** (2015). *Teoria y practica del mantenimiento industrial avanzado*. Mantenimiento autonomo. Madrid-Espana: Fundacion Confemetal. p81

**HERNANDEZ, J.** (1998). *Metodologia de la investigación*. Tecnicas investigativas. 2da Edicion. Mexico: McGraw-Hill. p78

**INDUCOR.** (2016). *Inducor Ingeniería*. [en linea] Técnicas para localizacion de fallas

[Consulta: 20 de diciembre 2016]

Obtenido de: [www.inducor.com.ar](http://www.inducor.com.ar)

**NORMA TECNICA IEC-60812.** (2006). *Analysis Techniques for Reliability*. Procedure for failure mode and effects analysis. 5ta Edicion. Suiza: IEC. p18

**NORMA TECNICA ISO 55000.** (2015) *International Organization for Standardization*. [en linea] Gestion de activos.

[Consulta: 17 de noviembre 2015]

Obtenido de: [www.iso.org](http://www.iso.org)

**NORMA TECNICA UNE-EN 13306.** (2011). *Terminología del mantenimiento*. [en linea] Terminos y definiciones relacionadas con mantenimiento. Madrid-Espana: AENOR. p 43

**MANRÍQUEZ, V. D.** (2015). *La serie de normas ISO 55000*. Mantenimiento en latinoamérica. 6ta edicion, Madrid-Espana: Schirmer. p78

**MEGGER.** (2015). *Curso Deteccion de Fallas en Cables Subterranos, CABLE FAULT LOCATOR*. Guayaquil-Ecuador: Megger. p9

**OKONITE.** (2015). *Catálogo de productos 2015*. Caracteristicas del cable subterraneo. Nueva Jersey-USA: Okonite. p279

**PETROAMAZONAS.** (2009). *Diagramas del sistema electrico del Bloque 31*. Recorrido y distancias del cable subterraneo. Orellana-Ecuador: PAM EP. p354

**SAMPIERI, R. C.** (2006). *Metodología de la investigación científica*. Metodologia de la investigacion. Mexico D.F: Mc Graw Hill. pp90-95

**SANZOL, L.** (2010). *Mantenimiento Industrial*. [en linea] Tecnicas modernas para el mantenimiento de equipos.

[Consulta: 28 enero 2016]

Obtenido de: <http://hdl.handle.net/2454/20479>

**SEXTO, L. F.** (2014). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. Calculo del indice de confiabilidad. Roma-Italia: radical-management. pp27-30

# **ANEXOS**



## Okoguard®-Okoseal®

### 69kV Shielded Power Cable

Conductor/105°C Rating — 100% Insulation Level



- A Uncoated, Okopact (Compact) or Compress Stranded Copper or Aluminum Conductor
- B Strand Screen-Extruded Semiconducting EPR
- C Insulation-Okoguard EPR
- D Insulation Screen-Extruded Semiconducting EPR
- E Shield- 5 Mil Uncoated Copper Tape
- F Jacket-Okoseal

#### Insulation

Okoguard is Okonite's registered trade name for its exclusive ethylene-propylene rubber (EPR) based, thermo-setting compound, whose optimum balance of electrical and physical properties is unequaled in other solid dielectrics. Okoguard insulation, with the distinctive red color and a totally integrated EPR system, provides the optimum balance of electrical and physical properties for long, problem free service.

The triple tandem extrusion of the screens with the insulation provides optimum electrical characteristics.

#### Jacket

The Okoseal (PVC) jacket supplied with this cable is mechanically rugged and has excellent resistance to oil and most chemicals.

#### Applications

Okoguard-Shielded-Okoseal 69kV Cables are designed for use as primary circuits in electrical utility and industry applications where they provide maximum circuit security and economical installation. Rated 105°C for continuous operating temperature, Okoguard 69kV cables may be installed in wet or dry locations indoors or outdoors (exposed to sunlight) in underground ducts, conduits or direct burial.

#### Specifications

**Conductors:** Uncoated copper sizes 350 through 1000 kcmil compact round stranding per ASTM B-496. Uncoated copper sizes larger than 1000 kcmil compress round stranding per ASTM B-8. EC Aluminum per ASTM B609, Class B stranded per B-231.

**Strand Screen:** Extruded semiconducting EPR strand screen. Meets or exceeds electrical and physical requirements of ICEA S-108-720, AEIC CS9.

**Insulation:** Meets or exceeds electrical and physical requirements of ICEA S-108-720 and AEIC CS9.

**Insulation Screen:** Extruded semiconducting EPR insulation screen. Meets or exceeds electrical and physical requirements of ICEA S-108-720 and AEIC CS9.

**Shield:** 5 mil bare copper tape helically applied with 25% nominal overlap.

**Jacket:** Meets or exceeds electrical and physical requirements of ICEA S-108-720 for polyvinyl chloride jackets.

Optional jackets include Okolene, Okolon TS-CPE, Okoclear and, when specified, a semi-conducting outer layer.

Optional shields include neutral wires, LCS and a combination of copper tape and wires. A CLX armor covering is also available.

#### Product Features

- Triple tandem extruded, all EPR system.
- Okoguard cables meet or exceed recognized industry standards (AEIC, NEMA/ ICEA).
- 105°C continuous operating temperature.
- 140°C emergency rating.
- 250°C short circuit rating.
- Excellent corona resistance.
- Exceptional resistance to "treeing."
- Low shield resistance.
- Moisture resistant.
- Resistant to most oils, acids, and alkalis.
- Sunlight resistant.
- Improved Temperature Rating.
- Screens are clean stripping.

Anexo B. Conductor tripolar de cobre OKONITE 3/C 750 MCM 35kV.

**COMPACT STRAND  
CONSTRUCTION**



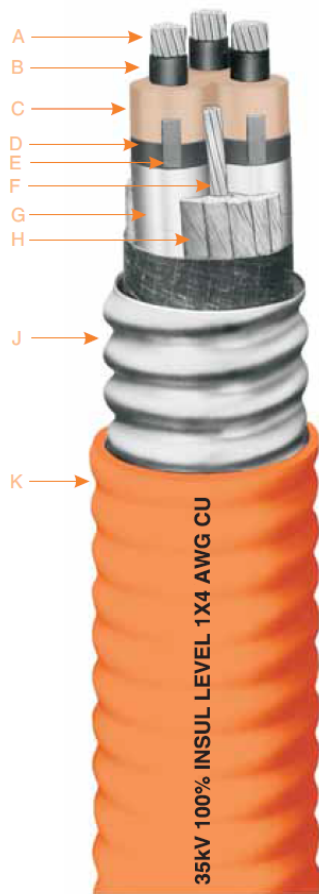
**Product Data  
Section 2: Sheet 26**

**C-L-X<sup>®</sup> Type MV-105 or MC-HL**

**35kV Okoguard<sup>®</sup> Shielded Power Cable-Aluminum Sheath**

3 Okopact<sup>®</sup> (Compact Stranded) Copper Conductors/105°C Rating  
100% and 133% Insulation Level

**For Cable Tray Use-Sunlight Resistant-For Direct Burial**



- A Uncoated, Okopact (Compact Stranded) Copper Conductors
- B Extruded Semiconducting EPR Strand Screen
- C Okoguard Insulation (EPR)
- D Extruded Semiconducting EPR Insulation Screen
- E Phase Identification Tape
- F Copper Grounding Conductor
- G Uncoated Copper Shield
- H Fillers and Binder Tape
- J Impervious, Continuous, Corrugated Aluminum C-L-X Sheath
- K Jacket-Orange Low Temperature Okoseal

**Insulation**

Okoguard is Okonite's registered trade name for its exclusive ethylene-propylene rubber (EPR) base, thermosetting compound, whose optimum balance of electrical and physical properties is unequalled in other solid dielectrics. Okoguard insulation, with the distinctive red color and a totally integrated EPR system, provides the optimum balance of electrical and physical properties for long, problem free service.

**Assembly**

The Type MV-105 conductors are assembled with fillers, one bare stranded grounding conductor and a binder tape into a round core. A continuously corrugated welded aluminum sheath (C-L-X) encases the cable core. The C-L-X sheath is protected with a low temperature orange Okoseal<sup>®</sup> jacket. The impervious, continuous, corrugated aluminum C-L-X sheath provides complete protection against moisture, liquids and gases in addition to its excellent mechanical strength. In addition, the aluminum sheath has adequate ampacity capability to be used as a grounding conductor in non HL areas. The Okoseal jacket allows the cable to be direct buried in the ground, embedded in concrete or areas subjected to corrosive atmospheres.

**Applications**

C-L-X power cables are recommended as an economical alternate to a wire in conduit system. They are designed specifically for use as feeders in industrial and utility power distribution systems. C-L-X power cables may be installed in both exposed and concealed work, wet and dry locations, direct burial in the earth, or embedded in concrete. They may be installed on metal racks, troughs, in cable trays or secured to supports not greater than 6 feet apart.

C-L-X Type MC-HL cables are also approved for Classes I, II, III, Divisions 1 and 2, and Class I, Zones 1 and 2 hazardous locations NEC Articles 501, 502, 503 and 505.

**Specifications**

**Conductors:** Uncoated copper compact stranded per ASTM B-496.

**Strand Screen:** Extruded semiconducting EPR conductor stress relief meets or exceeds electrical and physical requirements of ICEA S-93-639/NEMA WC74 and UL 1072.

**Insulation:** Okoguard meets or exceeds electrical and physical requirements of ICEA S-93-639/NEMA WC74 and UL 1072. The in-

ulated conductors are tested in accordance with AEIC CS8.

**Insulation Screen:** Extruded semiconducting EPR stress relief layer meets or exceeds electrical and physical requirements of ICEA S-93-639/NEMA WC74 and UL 1072.

**Shield:** 5 mil uncoated copper tape with 12.5% nominal overlap.

**Phase Identification:** Color coded (black, red, blue) polyester ribbon laid longitudinally under the copper shield tape.

**Grounding Conductor:** Uncoated copper class B in accordance with UL 1072.

**Assembly:** Cabled with fillers and ground wire in the interstices, binder tape overall.

**Sheath:** Close fitting, impervious, continuous, corrugated aluminum C-L-X per UL 1072, and UL listing E-60545; C-L-X is approved as a grounding conductor by NEC.

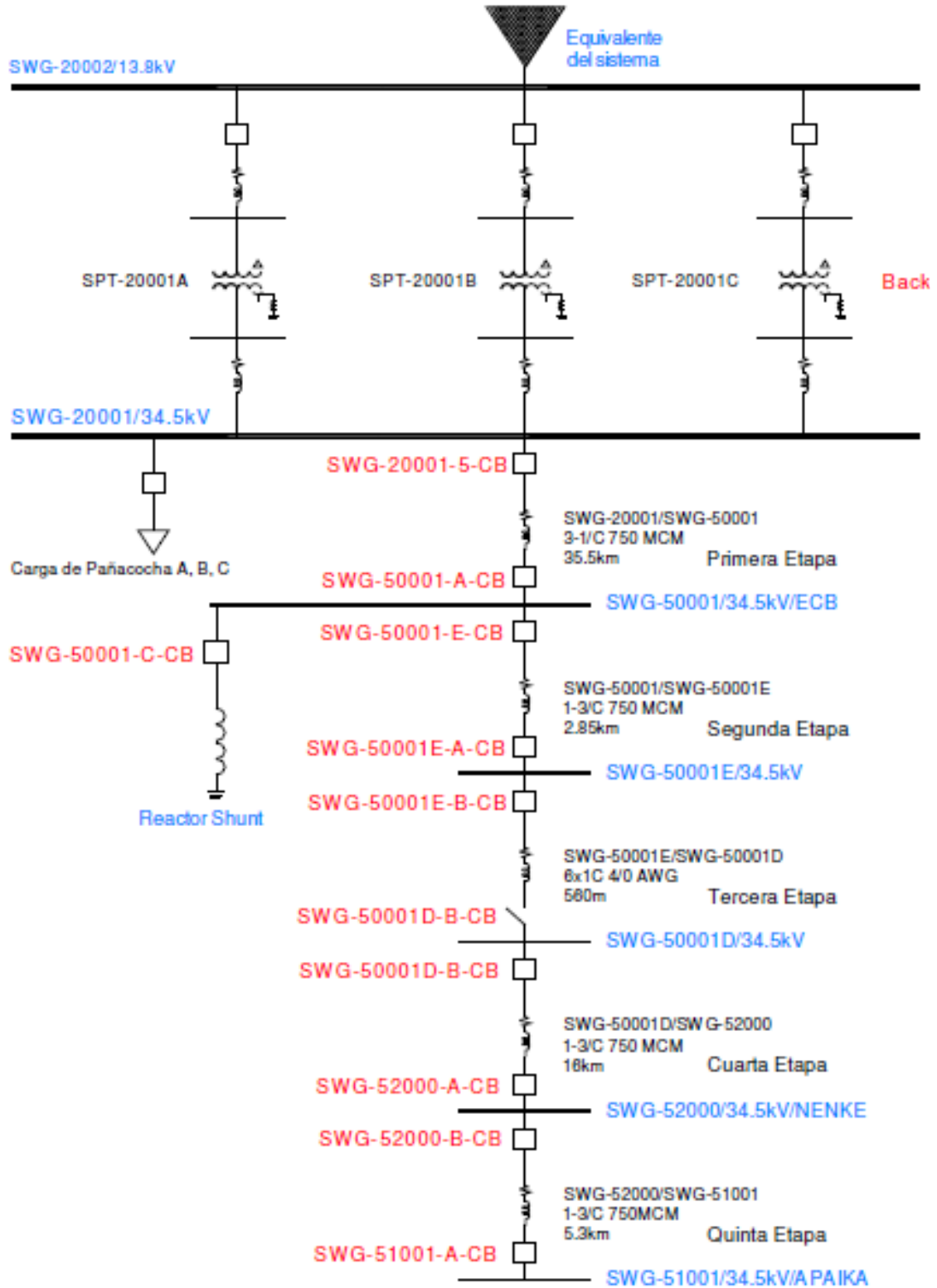
**Jacket:** A low temperature, sunlight resistant, orange PVC jacket in accordance with UL 1072. Other color jackets are available.

UL Listed as Type MV-105 or MC-HL, sunlight resistant, for use in cable tray, and for direct burial in accordance with UL 1072 and 2225. UL certified to IEEE 1580. CSA Listed C68.3.

**Product Features**

- Triple tandem extruded, all EPR system.
- Complete prepackaged, color coded, factory tested wiring system.
- Okoguard C-L-X cables meet or exceed all recognized industry standards UL, AEIC, NEMA/ICEA, IEEE.
- Passes the vertical tray flame test requirements of IEEE 383 and 1202, UL 1072, ICEA T-29-520 (210,000 BTU/hr.).
- Complies with NEC Sections 310.7 and 300.50 for direct burial.
- Complies with NEC Articles 501, 502, 503 and 505 for hazardous locations.
- Continuous sheath provides grounding safety.
- Excellent corona resistance.
- Screens are clean stripping.
- Exceptional resistance to "treeing".
- Min. installation temperature of -40°C.
- Improved Temperature Rating.
- ABS listed as CWCMC Type MC-HL.
- CSA listed as FT4 and LTGG (-40°C).

Anexo C. Diagrama unifilar del sistema electrico del Bloque 31.





Anexo D. Guía para desarrollo de la auditoría interna

<b>DATOS</b>			
FECHA			
CARGO DEL ENTREVISTADO			
NOMBRE DEL ENTREVISTADO			
<b>A) ORGANIZACIÓN, PERSONAL, RELACIONES</b>			
A1) ¿Está usted de acuerdo con la estructura funcional y jerárquica del departamento de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
A2) ¿Existen instrucciones, normativas y filosofía de actuación en el departamento de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
A3) ¿Indique cuál es su nivel de educación?	INGENIERÍA: ( )	TECNOLOGÍA: ( )	BACHILLER: ( )
A4) ¿Existe un plan de formación para los colaboradores del departamento de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
A5) ¿Se siente usted seguro de trabajar en el departamento de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
A6) ¿Existe una buena comunicación al interior del departamento de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
A7) ¿Los equipos están identificados por código?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
<b>B) PREPARACIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO</b>			
B1) ¿La organización administrativa de las ordenes de trabajo es la adecuada?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
B2) ¿Se distribuyen adecuadamente las actividades especializadas de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
B3) ¿La carga laboral se planifica adecuadamente por especialidad o sector?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
B4) ¿Los materiales para la ejecución de las tareas de	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )

mantenimiento llegan en cantidad y calidad necesaria?			
B5) ¿Se lleva el control de los tiempos estimados que se utilizan en cada tarea de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
B6) ¿Se cumple con los tiempos establecidos para finalización de los trabajos de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
B7) ¿Existe un método para evaluar la aceptación y satisfacción de los clientes del departamento de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
B8) ¿Las áreas que debe cubrir el departamento de mantenimiento están identificadas bajo algún criterio?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
B9) ¿Tienen identificados los equipos según su criticidad?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
<b>C) INGENIERÍA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO</b>			
C1) ¿Los talleres, instalaciones y equipos actualmente utilizados cumplen con las necesidades del departamento de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
C2) ¿La información técnica: planos, normas, instructivos, manuales, listas de repuestos, etc... Están disponibles y son de rápida localización?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
C3) ¿Existen fichas historiales de cada equipo donde se indiquen sus características y principales modificaciones, averías y costo anual de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
C4) ¿Utiliza el departamento de mantenimiento criterios de análisis sistematizado de averías?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
C5) ¿Disponen de un programa de mantenimiento preventivo e inspección del	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )

sistema eléctrico subterráneo?			
C6) ¿Existen procedimientos o instructivos para trabajos de mantenimiento?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
C7) ¿Los trabajos de mantenimiento e inspección requieren la utilización de mejores y más precisas herramientas para mejorar la calidad y duración de los mismos?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
<b>D) CONTRATACIÓN</b>			
D1) ¿Existe una política establecida para contratación de servicios especializados?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
D2) ¿Se detallan claramente las especificaciones, alcance y calidad de servicios contratados?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
D3) ¿El precio es la única característica que se tiene al momento de contratar un servicio?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
D4) ¿Se supervisa a los contratistas?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
<b>E) PRESUPUESTO DE MANTENIMIENTO</b>			
E1) ¿El presupuesto anual de mantenimiento recoge la participación de todos los estamentos y personas implicadas?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
E2) ¿Se tiene identificado el desglose por tipo de mantenimiento que se realiza: Preventivo, Correctivo, Modificativo?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
E3) ¿Existen medios informáticos para un eficiente control de costos?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
E4) ¿Dispone de indicadores económicos que puedan ser comparados en el tiempo?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
E5) ¿Se sabe cuánto gana exactamente cada técnico de mantenimiento por hora?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )

<b>F) EFICIENCIA</b>			
F1) ¿La duración de las tareas de mantenimiento es la correcta?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
F2) ¿Se cumplen las políticas ambientales?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
F3) ¿Se cumple la calidad en los trabajos realizados?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
F4) ¿Existe una visible mejora en las instalaciones?	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )
F5) ¿Se cumple la programación de los trabajos planificados de mantenimiento.	SI: ( )	PARCIALMENTE: ( )	NO: ( )

**NORMA  
VENEZOLANA**

---

**COVENIN  
2500-93**

**MANUAL PARA EVALUAR LOS  
SISTEMAS DE MANTENIMIENTO  
EN LA INDUSTRIA.  
(1<sup>era</sup> Revisión)**



**NORMA VENEZOLANA  
MANUAL PARA EVALUAR LOS SISTEMAS  
DE MANTENIMIENTO EN LA INDUSTRIA**

**COVENIN  
2500-93  
(1<sup>ra</sup> Revisión)**

## **1 NORMAS COVENIN A CONSULTAR**

COVENIN 3 049-93: Mantenimiento. Definiciones.

## **2 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION**

2.1 Esta Norma Venezolana contempla un método cuantitativo, para la evaluación de sistemas de mantenimiento, en empresas manufactureras, para determinar la capacidad de gestión de la empresa en lo que respecta al mantenimiento mediante el análisis y calificación de los siguientes factores:

- Organización de la empresa.
- Organización de la función de mantenimiento.
- Planificación, programación y control de las actividades de mantenimiento.
- Competencia del personal.

2.2 El manual esta enfocado para su aplicación en empresas o plantas en funcionamiento. Para aquellas en fase de proyecto se requiere de una planificación que contemple aspectos funcionales y de ingeniería tales como criterios de selección de equipos y maquinarias, especificación de materiales de construcción, distribución de plantas, u otros.

## **3 PROCEDIMIENTOS PARA EVALUACION**

Antes de insertar este manual, es necesario disponer de la definición de los conceptos de principios básicos y deméritos, de igual manera que el establecimiento de los criterios para su ponderación. Cualquier definición adicional puede ser consultada en la Norma Venezolana COVENIN 3 042.

### **3.1 Definiciones**

#### **3.1.1 Principio Básico**

Es aquel concepto que refleja las normas de organización y funcionamiento, sistemas y equipos que deben existir y aplicarse en mayor o menor proporción para lograr los objetivos del mantenimiento.

#### **3.1.2 Deméritos**

Es aquel aspecto parcial referido a un principio básico, que por omisión o su incidencia negativa origina que la efectividad de este no sea completa, disminuyendo en consecuencia la puntuación total de dicho principio.

### **3.2 Criterios para la ponderación del Principio Básico**

3.2.1 El evaluador debe mantener una entrevista con el sector dirigente de la empresa con el objeto de efectuar un análisis de los aspectos cualitativos recogidos en los distintos principios básicos.

3.2.2 En el contacto inicial no debe profundizarse en el análisis, por lo tanto no deben considerarse los posibles deméritos, limitando la investigación a los aspectos contemplados en el principio básico.

3.2.3 Si de este primer contacto se desprende que existe el principio básico, aún desconociendo su eficiencia real en la práctica, el evaluador asignará la puntuación completa correspondiente dependiendo del valor respectivo.

3.2.4 Si en la entrevista inicial se deduce la no existencia del principio básico el evaluador procederá a evaluarlo en cero puntos, en consecuencia no será necesario entrar en el análisis de los posibles deméritos del principio básico.

### **3.3 Criterios para la ponderación de los deméritos**

3.3.1 Para determinar la existencia real de deméritos en cada principio básico que se haya comprobado su existencia, el evaluador hará una investigación exhaustiva y minuciosa, en el mismo lugar en que cada aspecto pueda dar lugar a su existencia, considerando cada detalle que pueda contribuir a disminuir la eficacia del contenido del principio básico.

3.3.2 Los deméritos restantes al principio básico hasta la cantidad máxima que se indica para cada uno de ellos en la columna correspondiente de cada capítulo, pueden restar cualquier valor comprendido entre cero y el valor máximo que se indica para cada uno de ellos, dependiendo de la intensidad con que el demérito se presenta.

## **4 FICHA DE EVALUACION**

Al final se ha incluido un formato para llevar el resultado de la evaluación y obtener el perfil de la empresa; para lo cual se indican las siguientes instrucciones para su correcto uso.

#### 4.1 Encabezamiento

##### 4.1.1 Empresa

Debe indicarse el Nombre o Razón Social.

##### 4.1.2 Fecha, evaluador y No. de inspección

Se indica la fecha en la cual se realiza la evaluación, el nombre del evaluador y el No. de la inspección.

#### 4.2 Puntuación

##### 4.2.1 Columna D ( D<sub>1</sub> + D<sub>2</sub> + ..... + D<sub>n</sub>)

Se indica el valor de los deméritos obtenidos por la empresa en cada principio básico.

##### 4.2.2 Columna E

Se indica la suma total de los deméritos alcanzados en la columna anterior

##### 4.2.3 Columna F

Se coloca la diferencia entre la puntuación máxima de la columna C (Ver formulario final) y el valor total de los deméritos de la columna E.

#### 4.3 Puntuación Gráfica

4.3.1 En las casillas correspondientes a los totales obtenidos se indica la suma de las puntuaciones obtenidas en la columna F.

4.3.2 El valor obtenido en el punto anterior se compara con la puntuación obtenible (columna C) y se calcula el porcentaje.

4.3.3 Se trazan barras horizontales que parten de la casilla correspondiente a los totales obtenidos en la columna F y se prolongan hasta el porcentaje parcial de cada capítulo obtenido y previamente indicado en la columna G.

4.3.4 Mediante una línea poligonal que una a los extremos de estas barras horizontales se obtiene el perfil de la empresa.

#### 4.4 Puntuación Porcentual

4.4.1 Se indica al final de la columna F, el total de las puntuaciones obtenidas (Casilla indicada con el número (2)).

4.4.2 Se coloca al final de la columna C, la puntuación máxima obtenible (Casilla indicada con el número (1)).

$$\text{Puntuación Porcentual Global} = \frac{(2) * 100}{(1)}$$

#### 5 INFORME FINAL

El informe de la evaluación debe constar de las siguientes partes:

- Resumen
- Observaciones y recomendaciones sobre algunas áreas
- Deméritos por área
- Ficha de evaluación

Anexo F. Resultados de la auditoría (Inicial)

DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO																
% ponderación Áreas A	Áreas/funcionales	% Ponderación FUNCIONES B	C= CALIFICACIÓN ÁREA/FUNCIÓN (10 PERFECTO)										% CALF.AREA D=BXC/10	% CALF.MTO F=AXD/100		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	
16	A. 1. Organización, Personal, Relaciones	100													37,5	6
	A.1.1. Adecuación y balance del organigrama	10					4								4	
	A.1.2. Directrices de mantenimiento	20				3									6	
	A.1.3. Formación del personal	20				3									6	
	A.1.4. Planes de formación	15				3									4,5	
	A.1.5. Motivación del personal	30						5							15	
	A.1.6. Comunicación	5					4								2	
10	A.2. Preparación y Planificación del Trabajo	100													29,1	2,91
	A.2.1. Sistemática de órdenes de trabajo	20			2										4	
	A.2.2. Coordinación de especialidades	20					4								8	
	A.2.3. Establecimiento de programas	8			2										1,6	
	A.2.4. Definición de materiales	15			2										3	
	A.2.5. Estimación de tiempos	8					4								3,2	
	A.2.6. Estimación de fechas de finalización	8				3									2,4	
	A.2.7. Recepción de trabajos terminados	15				3									4,5	
	A.2.8. Evaluación de necesidades externas	6					4								2,4	



20	A.3. INGENIERÍA, INSPECCIÓN, MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	100																32,5	6,5
	A.3.1. Diseño y montaje instalaciones existentes	15				3												4,5	
	A.3.2. Documentación técnica disponible	10						5										5	
	A.3.3. Historial equipos	20		1														2	
	A.3.4. Investigación sistemática de averías.	25						4										10	
	A.3.5 Gamas de mantenimiento preventivo	10				3												3	
	A.3.6. Análisis de métodos de trabajo	5						4										2	
	A.3.7. Dotación de medios de mantenimiento e inspección	15						4										6	
10	A.4 COMPRAS Y ALMACENES DE MANTENIMIENTO	100																35	3,5
	A.4.1. Sistemática de la gestión de compras	30						5										15	
	A.4.2. Recepción de materiales	30				3												9	
	A.4.3. Locales. Disposición física de los materiales. Localización	20			2													4	
	A.4.4. Codificación. Estandarización de recambios	10			2													2	
	A.4.5. Calidad del servicio de los almacenes de mantenimiento	10						5										5	
12	A.5. CONTRATACIÓN	100																61	7,32
	A.5.1. Política de Contratación de trabajos	30						5										15	
	A.5.2. Especificación técnica de los trabajos a contratar.	30										8						24	

	A. 5.3. Selección de Contratistas	20					4						8	
	A.5.4. Supervisión de Contratistas	20							7				14	
12	A.6. Presupuestos de Mantenimiento	100											55	6,6
	A.6.1. Preparación de presupuesto anual de Mantenimiento	50					5						25	
	A.6.2. Definición de tipos de Mantenimiento. Tratamiento Contable	20					4						8	
	A.6.3. Documentos de Gestión Económica	5							7				3,5	
	A.6.4. Informatización del Control de Costes	10								8			8	
	A.6.5. Seguimiento y Control de Costes.	10							7				7	
	A.6.6. Existencia y evolución de índices económicos.	5							7				3,5	
20	A.7. EFICIENCIA	100											53	10,6
	A.7.1. Duración de los trabajos de Mantenimiento.	15						6					9	
	A.7.2. Cumplimiento de los plazos	20					5						10	
	A.7.3. Calidad de los trabajos realizados	20					4						8	
	A.7.4. Coste de los trabajos realizados	10					5						5	
	A.7. 5. Estado de las Instalaciones-Averías	15						6					9	
	A.7.6. Calidad de servicio	20						6					12	

100

43,43

**Resultados de la Auditoria (Actual)**

DIAGNOSTICO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO																
% ponderación Áreas A	Áreas/funcionales	% Ponderación FUNCIONES B	C= CALIFICACIÓN ÁREA/FUNCIÓN (10 PERFECTO)										% CALF.AREA D=BXC/10	% CALF.MTO F=AXD/100		
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			10	
16	A. 1. Organización, Personal, Relaciones	100													70,5	11,28
	A.1.1.Adecuación y balance del organigrama	10											8		8	
	A.1.2. Directrices de mantenimiento	20											8		16	
	A.1.3.Formación y cualificación del personal	20										7			14	
	A.1.4.Planes de formación	15										7			10,5	
	A.1.5.Seguridad del personal	30								6					18	
	A.1.6. Comunicación	5											8		4	
10	A.2.Preparación y Planificación del Trabajo	100													75,9	7,59
	A.2.1. Sistemática de órdenes de trabajo	20											9		18	
	A.2.2.Coordinación de especialidades	20											8		16	
	A.2.3.Establecimiento de programas	8											8		6,4	
	A.2.4.Definición de materiales	15								6					9	
	A.2.5.Estimación de tiempos	8										7			5,6	
	A.2.6. Estimación de fechas de finalización	8										7			5,6	
	A.2.7. Recepción de trabajos terminados	15										7			10,5	
	A.2.8.Evaluación de necesidades externas	6											8		4,8	







**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**INSTITUTO DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.**

**OBJETIVO:**

Recolectar información acerca de la gestión del mantenimiento a la red de cableado subterráneo de media tensión el Bloque 31.

Agradecemos de antemano su honestidad en las respuestas.

**1.- ¿Cuál es su relación laboral con la empresa?**

Contratado	
Permanente	

**2.- Indique el tiempo que trabaja en el Bloque 31.**

Menos de un año	
Entre 1 a 2 años	
Entre 2 a 3 años	
Más de 3 años	

**3.- Señale su nivel de instrucción.**

Primario	
Secundario	
Tecnológico	
Ingeniería	
Posgrado	

**4.- ¿Qué tipo de mantenimiento se realiza en la red de cableado subterráneo de media tensión?**

Preventivo	
Correctivo	
Predictivo	
Otro	

**5.- ¿Cada qué tiempo considera usted que se realizan supervisiones para mantenimiento en la red de cableado subterráneo de media tensión?**

Semanal	
Quincenal	
Mensual	
Trimestral	
Semestral	
Anual	

**6.- ¿Cuenta el Bloque 31 con un plan de mantenimiento para la red de cableado subterráneo de media tensión?**

Si	
No	

**7.- ¿Considera que la red de cableado subterráneo de media tensión en el Bloque 31 cumple los requerimientos necesarios en seguridad para el personal?**

Si	
No	

**8.- ¿Considera que la ruta utilizada por la red de cableado subterráneo en el Bloque 31 cumplen con los requerimientos necesarios en señalética?**

Si	
No	

**9.- ¿Considera que el personal involucrado en la operatividad y mantenimiento de la red de cableado subterráneo del Bloque 31 tiene el equipamiento operativo adecuado?**

Si	
No	

**10.- ¿Es común que se contrate personal externo para tareas de mantenimiento de la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31?**

Si	
No	

**11.- ¿Existen registros detallados de los mantenimientos históricos dados a la red de cableado subterráneo de media tensión del Bloque 31?**

Si	
No	

**12.- ¿En caso de requerir algún tipo de repuesto para la red de cableado subterráneo de media tensión en el Bloque 31, cómo considera la gestión que se realiza?**

Muy ágil	
Medianamente Ágil	
Poco ágil	
Nada ágil	

**13.- ¿Han sucedido paras no planificadas en las operaciones del Bloque 31 debido a fallas de la red de cableado subterráneo de media tensión?**

Si	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

**14.- Indique la frecuencia anual de paras no planificadas en las operaciones del Bloque 31 debido a fallas de la red de cableado subterráneo de media tensión.**

1 Anual	<input type="checkbox"/>
2 Anual	<input type="checkbox"/>
3 Anual	<input type="checkbox"/>
4 Anual	<input type="checkbox"/>
5 Anual	<input type="checkbox"/>
Más de 5 anual	<input type="checkbox"/>

**15.- Indique el tiempo que han tardado las paras no planificadas por causas de la red de cableado subterráneo de media tensión.**

1 día	<input type="checkbox"/>
2 días	<input type="checkbox"/>
3 días	<input type="checkbox"/>
4 días	<input type="checkbox"/>
5 días	<input type="checkbox"/>
Más de 5 días	<input type="checkbox"/>

**16.- ¿Se planifica con antelación la paralización de módulos o unidades operativas dentro del Bloque 31 con finalidades de mantenimiento a la red de cableado subterráneo de media tensión?**

Si	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

**17.- ¿Se ofrece capacitaciones periódicas sobre mantenimiento, seguridad, medio ambiente, o temas relacionados a factores influyentes de la red de cableado subterráneo de media tensión?**

Si	<input type="checkbox"/>
No	<input type="checkbox"/>

**18.- Indique la frecuencia anual de capacitaciones relacionadas.**

1 Anual	<input type="checkbox"/>
2 Anual	<input type="checkbox"/>
3 Anual	<input type="checkbox"/>
4 Anual	<input type="checkbox"/>
5 Anual	<input type="checkbox"/>
Más de 5 anual	<input type="checkbox"/>

**GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**



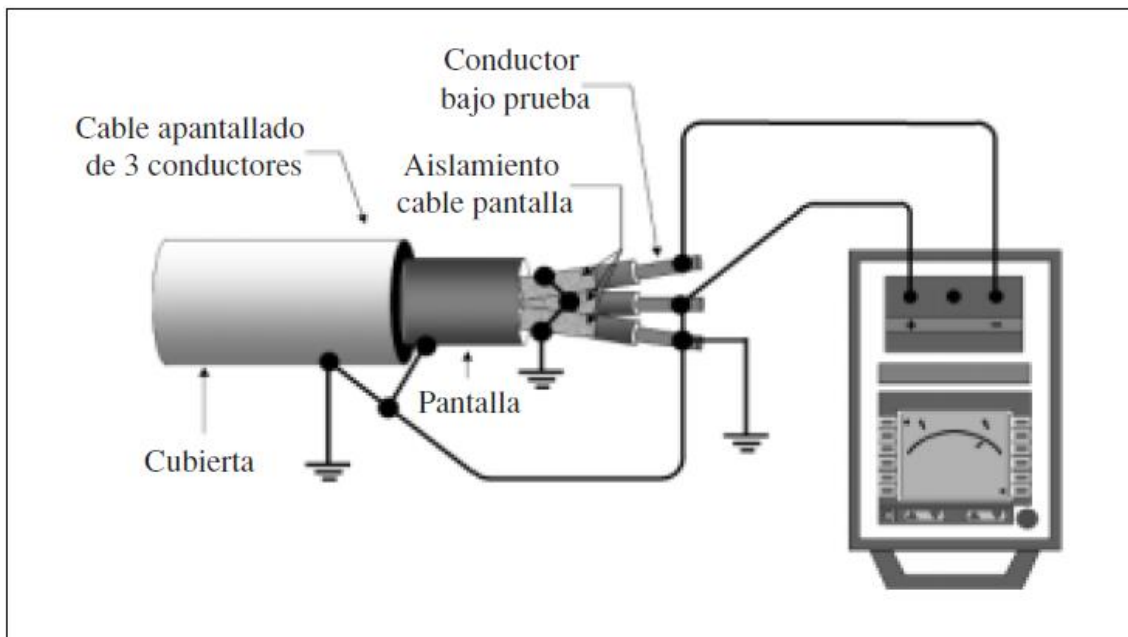
**Procedimiento para la localización de fallas.**

1. Probar con un “tester” de aislamiento o un “megger”.
2. Analizar la información obtenida.
3. Pre-localizar la falla.
4. Localizar.

**Probar**

Aislar la sección del cable que falló

Medir la resistencia del aislamiento con un megóhmetro, tal como se indica en la figura siguiente:



Medición inicial. Anote el valor de resistencia de aislamiento de fase o de corriente de fuga.

Haga lo mismo con los conductores restantes.

Registre todas las lecturas

Si se obtiene una lectura de infinito, es probable que el conductor este completamente abierto, esto puede ser el resultado de una excavación o una falla que ha deteriorado y abierto el conductor de fase.

Repita todas las pruebas desde el otro extremo del cable.

### **Analizar**

Si la resistencia de aislamiento del conductor fallado es menor de  $50 \Omega$  o de más de  $1 M\Omega$ , será relativamente sencillo localizar la falla.

Solo si existe agua o aceite en la cavidad fallada o si existen fallas múltiples, podrían presentarse dificultades en la localización de la falla.

Si se registra valores de resistencia de aislamiento de menos de  $10 \Omega$ , puede ser que no sea posible crear una descarga en arco que se conoce con el nombre de “flashover” en el lugar de la falla cuando se utilizan los métodos de impulso consecutivo. A menudo este tipo de falla se llama falla cerrada o de metal a metal (bolted).

### **Pre localizar la falla**

Algunas de las técnicas empleadas para pre localizar la falla son:

Seleccionar/Dividir: Se emplea para todas las fallas, no se emplean instrumentos de localización y solo se debe subdividir el sector fallado y realizar las pruebas en cada segmento dividido.

Reflectometría en el Dominio del Tiempo (TDR): Este método se emplea en fallas que miden menos de  $200 \Omega$  y en todas en la que el cable está abierto.

Reflectómetro de Alta Energía: Se emplea en la localización de todas las fallas, reflexión de arco, reflexión de arco diferencial, reflexión de impulso y decaimiento.

Detección de Impulso Electromagnético: Se emplea en la detección de todas las fallas en cortocircuito y en algunas fallas abiertas.

### **Localizar**

Se llama también ubicación exacta de la falla, ésta es necesaria antes de efectuar la excavación.

Después de pre-localizar la falla, hay que conectar un generador de impulso a un extremo del cable fallado; luego, sólo se debe escuchar en la zona fallada un ruido que delata la posición de la falla.

La pequeña explosión que se produce, genera un frente de ondas sonoras que viajan saliendo de la tierra. Este evento audible es lo que se denomina el “thump” de la falla y es la que revela la localización exacta.

Pueden presentarse algunas dificultades que podrían impedir la localización de la falla. Cuando el ruido no es lo suficientemente intenso se debe utilizar un detector de impulso acústico para localizar con exactitud la falla.

### **Técnicas para localización de fallas**

Los métodos modernos más empleados son los siguientes:

#### **Reflectometría de Dominio de Tiempo (TDR)**

Llamada también reflectometría convencional o radar de baja tensión, este método incluye un analizador con un generador de pulsos de señal de frecuencia elevada que los transmite por el cable que estamos probando e incluye un osciloscopio que muestra las reflexiones de los pulsos. En la pantalla del TDR se representan muchos puntos de referencia reconocibles tales como empalmes, cortes y fallas de derivación en cables de energía con una resistencia de aproximadamente menos de 200  $\Omega$ .

#### **TDR Diferencial**

Cuando un TDR convencional se programa para presentar en su pantalla la diferencia algebraica entre dos trazas de entrada, se denomina TDR diferencial. Si las dos trazas son idénticas, el monitor presentará una línea completamente plana. Esto puede ser útil cuando se localizan fallas en un sistema trifásico donde la fase fallada puede compararse con una fase buena. Cuando se utiliza un TDR diferencial la falla se ubicará probablemente colocando el cursor en donde exista una diferencia entre ambas trazas.

#### **Reflexión de Arco**

A menudo mencionado como uno de los métodos de radar de alta tensión, este método supera la limitación de 200  $\Omega$  del reflectómetro convencional. Además del TDR, se necesita un filtro de reflexión de arco y un generador de impulso. El generador de impulso proporciona una gran elevación de corriente en el lugar de la falla creando un cortocircuito momentáneo que el TDR puede mostrar como una reflexión en sentido descendente. El filtro protege el TDR del pulso de alta tensión generado por el generador de impulsos.

#### **Reflexión de Arco Diferencial**

Este método de reflectometría de alta energía, es básicamente una extensión de la reflexión de arco. Requiere el uso de un generador de impulso, un filtro de reflexión de arco y un analizador. El analizador DART mostrará la diferencia algebraica entre la traza de baja tensión y la subsiguiente traza de alta tensión. La reflexión de arco diferencial

elimina todas las reflexiones idénticas antes de la falla. La primera reflexión descendente que aparece (la falla) se podrá ahora identificar fácilmente.

### **Reflexión de Corriente de Impulso**

Este método requiere del uso de un acoplador de impulso (acoplador lineal), un generador de impulso y un analizador. El analizador hace el trabajo de un osciloscopio con memoria que captura y muestra reflexiones desde la falla, producidas por el pulso de la tensión del generador de impulso. El analizador opera en forma pasiva como un registrador de impulsos. El empleo de impulsos de alta energía es especialmente efectivo en la localización de fallas en tramos muy largos y en cables con fallas difíciles de ionizar que no se evidencian en forma efectiva utilizando la reflexión de arco.

### **Quemado**

El modo de quemado se usa cuando la falla no forma arco con la tensión máxima disponible del capacitor de impulso. Es decir que poniendo toda la tensión disponible en el cable, ésta aún no descarga. Esto es debido a las características eléctricas de la falla, lo cual puede cambiarse por una operación de quemado del defecto. Se procede aumentando la tensión en el cable hasta que la falla se descomponga y luego, proveyendo una corriente estable o en aumento, se produce el quemado y carbonizado de la falla, que a su vez disminuye su resistencia y reduce la tensión necesaria para la descomposición. De allí el término “quemado” que condiciona la falla para que se descomponga a una tensión menor y produzca el efecto “thump”

Estudios recientes indican que la operación de quemado puede ser también una razón para la disminución del tiempo de duración de los cables de tipo XLPE, por lo que se recomienda que esta operación se use con moderación en este tipo de cable. Sin embargo, el quemado es mucho más común en los cables PILC, por lo que no se registran efectos nocivos cuando se usa el quemado en los mismos.